ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

Secrétaire de la rédaction :

H. GRANDEAU, sous-directeur de la Station agronomique de l'Est.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.

Guinon, directeur de la Station agronomique de Châteauroux.

Margottet, directeur de la Station agronomique de Dijon.

Th. Schlœsing, de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique.

E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.

A. Girard, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Ronna, membre du Conseil supérieur de l'agriculture.

Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.

E. Reuss, inspecteur des forêts à Alger.

Correspondants des Annales pour l'étranger.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.

J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.

Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.

Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.

Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de Gembloux.

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

João Motta dâ Prego, à Lisbonne.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Berkeley (Californie).

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Zetterlund, directeur de la Station agronomique d'Orebro.

Dr Al. Atterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales *(chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.).*

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère *(manuscrits, épreuves, correspondance, etc.) devra être adressé* franco *à M.* **Henry Grandeau**, *docteur ès sciences, secrétaire de la Rédaction, 3, quai Voltaire, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

Louis GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
PROFESSEUR SUPPLÉANT AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

SEPTIÈME ANNÉE — 1890

Tome I

Avec figures dans le texte et planches photolithographiées.

PARIS
BERGER-LEVRAULT ET C[ie], LIBRAIRES-ÉDITEURS
5, rue des Beaux-Arts, 5
MÊME MAISON A NANCY

1891

RECHERCHES

SUR

LES ENGRAIS DE LA VIGNE

Par M. U. GAYON

Les expériences qui suivent ont eu pour but de rechercher, dans des conditions données de cépage et de terrain, la forme sous laquelle les principaux éléments fertilisants, azote, acide phosphorique, potasse, chaux et magnésie, conviennent le mieux au développement de la vigne.

Pour éviter les perturbations causées par le phylloxera et par les traitements insecticides, on a choisi le champ d'expériences dans un terrain sablonneux, résistant par nature aux invasions phylloxériques. M. Chambrelent, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a mis gracieusement à ma disposition toute la surface nécessaire aux essais dans sa propriété de Pierroton, située dans la commune de Cestas, sur la lisière du vaste plateau qui forme les Landes de Gascogne, à 19 kilomètres au Sud-Ouest de Bordeaux.

Le sol des Landes, perméable et peu fertile, repose sur un sous-sol imperméable, connu sous le nom d'*alios,* lequel est constitué par du sable siliceux agglutiné par des matières organiques, compact et dur comme du ciment. A Pierroton, l'alios se trouve à une profondeur de 50 à 60 centimètres au-dessous de la surface du sol.

Le champ destiné aux expériences était planté de pins maritimes

âgés d'une trentaine d'années. A la fin de 1882, pendant l'hiver, ces pins furent coupés et déracinés ; le sol fut défoncé jusqu'à l'alios, retourné, labouré, nivelé et rendu aussi homogène que possible ; de larges fossés à ciel ouvert furent disposés, dans deux directions rectangulaires, pour assurer l'écoulement des eaux ; puis, le terrain fut abandonné au repos jusqu'au printemps de 1883, époque à laquelle on fit la plantation de la vigne.

Des échantillons du sol, prélevés en différents points et mélangés de manière à former un seul échantillon homogène, ont donné à l'analyse, après dessiccation à l'air libre :

Analyse mécanique[1].

Cailloux	10.5
Débris végétaux	2.8
Terre fine	86.7
	100.0

Analyse physico-chimique de la terre fine.

Humidité à 110°	0.62
Matières organiques	3.83
Sable siliceux	93.90
Argile	0.47
Calcaire	0.35
	99.17

Analyse chimique de la terre fine.

Azote	1gr,045	par kilogr.[2].
Acide phosphorique	0 ,073	—
Potasse	0 ,212	—
Chaux	1 ,890	—
Magnésie	0 ,473	—

1. Pour la composition du sol des Landes, consulter : Baudrimont, *Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux,* T. IX, p. 410 ; 1873 ; — L. Grandeau, *Annales de la Station agronomique de l'Est,* p. 359 ; 1878 ; — Risler et Colomb-Pradel, *Annales de l'Institut national agronomique,* T. X, p. 345 ; 1887.

2. MM. Risler et Colomb-Pradel (*loc. cit.*) ont trouvé 1gr,270 d'azote par kilogr. de terre fine dans un échantillon pris en 1885 dans le même champ d'expériences.

Ce sol est donc assez riche en matières organiques et en azote, mais il est pauvre en potasse, en magnésie et surtout en acide phosphorique. Il est également pauvre en calcaire, ce qui a fait croire quelquefois que la terre des Landes est complètement dépourvue de chaux. La présence de traces de chaux est cependant nécessaire pour permettre le développement des plantes et des animaux qui vivent dans le pays.

Le calcaire y existe en partie seulement sous la forme active, comme on s'en assure par la méthode si sensible de M. de Mondesir[1] : 50 grammes de terre du champ d'expériences, traités par cette méthode, ont donné, dans le tube manométrique, un accroissement de 45 millimètres de hauteur, correspondant à 0gr,218 de carbonate de chaux par kilogramme.

Ce résultat montre que, malgré le défrichement, la terre n'est pas acide ; d'ailleurs, en faisant la contre-épreuve, c'est-à-dire en agitant un poids donné de cette terre avec quelques grammes de carbonate de chaux en poudre, dans l'appareil de M. de Mondesir, on n'a obtenu aucune augmentation du volume gazeux.

I

Le terrain ayant été préparé comme il a été dit, on l'a planté en *Cabernet sauvignon*, cépage rouge très estimé en Médoc. Les plants ont été disposés en lignes parallèles, distantes de trois mètres les unes des autres, de manière que les engrais appliqués sur l'une d'elles ne pussent pas être entraînés par les labours ou par les pluies jusqu'aux lignes voisines et influer sur leur végétation. Dans chaque ligne, les pieds ont été placés à un mètre l'un de l'autre sur une longueur totale de cent mètres au minimum. De cette façon, un même engrais étant essayé sur une centaine de pieds, les influences individuelles devaient être à peu près sans effet sur les moyennes des résultats obtenus.

1. *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1886, T. II, p. 313, et 1887, T. II, p. 270 ; — *Études agronomiques*, par M. Louis Grandeau, 3e série, p. 187 ; 1888.

En 1883, aucun engrais n'a été employé ; la végétation a été faible, mais assez uniforme. Les sarments, récoltés le 31 mars 1884, au moment de la taille, ne pesaient, en moyenne, que 43 grammes pour 100 pieds de vigne.

La première application d'engrais a été faite le 8 avril 1884, avant la seconde pousse, et la deuxième application le 16 avril 1885, avant la troisième pousse. Une troisième application fut faite en avril 1886 ; mais des accidents multiples (gelée printanière, grêle, mildiou, sécheresse) ont fait mourir un grand nombre de pieds et mis fin aux essais, avant d'avoir pu déterminer l'influence des engrais sur la fructification.

Les résultats acquis en 1884 et en 1885 se rapportent donc exclusivement à la *végétation* du Cabernet sauvignon ; on verra qu'ils ont été tout à fait concordants.

Les quantités d'éléments fertilisants donnés sous diverses formes à chaque pied de vigne ont été :

	EN 1884.	EN 1885.
	Gr.	Gr.
Azote	2	4
Acide phosphorique	2	4
Potasse	3	4
Chaux	5	5
Magnésie	1	2

Avant chaque application, les engrais étant analysés, on pesait de chacun d'eux la quantité contenant le poids déterminé d'élément fertilisant ; on mélangeait la matière, s'il était nécessaire, pour en accroître le volume, avec du sable fin stérile, ou bien on la dissolvait dans l'eau, si elle était liquide ou hygrométrique ; après avoir ainsi préparé autant de paquets ou de flacons que de pieds à traiter, on les transportait sur le champ d'expériences et, avec un personnel suffisant, on faisait l'épandage entier dans une même journée. Des femmes déchaussaient chaque cep dans un rayon de 25 à 30 centimètres et à une profondeur de 10 à 15 centimètres ; on semait derrière elles le paquet d'engrais en le dispersant d'une façon aussi uniforme que possible autour du pied ; puis d'autres femmes venaient immédiatement recouvrir l'engrais avec la terre et rechausser le cep.

Le même engrais a été appliqué chaque année sur la même rangée de ceps. Plusieurs rangées équidistantes ont été réservées comme témoins et n'ont reçu aucun engrais.

Les essais ont porté sur les groupes d'engrais suivants :

1° — Engrais azotés.

2° — Engrais phosphatés.

3° — Engrais potassiques.

4° — Engrais calciques et magnésiens.

Nous allons donner successivement les résultats obtenus avec chacun de ces groupes.

1° Engrais azotés.

On a essayé comparativement :

a. Des engrais simples, ne contenant que l'azote comme élément fertilisant, à l'état nitrique, ammoniacal ou organique :

1. Nitrate de soude;
2. Nitrate d'ammoniaque ;
3. Chlorhydrate d'ammoniaque ;
4. Sulfate d'ammoniaque;
5. Azotine ;
6. Sang desséché ;
7. Cuir torréfié.

b. Des engrais mixtes, contenant, avec l'azote, de la potasse ou de l'acide phosphorique :

8. Nitrate de potasse ;
9. Phosphate d'ammoniaque;
10. Guano du Pérou.

Comme on l'a déjà dit, la première application a été faite le 8 avril 1884, avec la quantité de ces divers engrais correspondante à 2 grammes d'azote ; la seconde application a été faite le 16 avril 1885, avec une dose double, afin de mettre 4 grammes d'azote à chaque cep.

Le tableau I ci-après donne la composition des engrais mis ainsi en expérience avec les poids employés successivement par pied :

TABLEAU I. — Composition des engrais azotés; poids employé par cep.

NUMÉROS d'ordre.	ENGRAIS MIS EN EXPÉRIENCE.	RICHESSE DE L'ENGRAIS EN AZOTE				POIDS D'ENGRAIS employé par pied	
		nitrique.	ammoniacal.	organique.	total.	en 1884.	en 1885.
		p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	gr.	gr.
1	Nitrate de soude	15.96	»	»	15.96	12.5	25.0
2	Nitrate d'ammoniaque	17.75	16.80	»	34.55	5.8	11.6
3	Chlorhydrate —	»	14.40	»	14.40	14.1	28 2
4	Sulfate —	»	20.16	»	20.16	9.9	19.8
5	Azotine	»	»	9.06[1]	9.06	22.1	44.2
6	Sang desséché	»	»	12.04	12.04	16.6	33.2
7	Cuir torréfié	»	»	8.64	8.64	23.1	46.2
8	Nitrate de potasse	12.88	»	»	12.88	15.5	31.0
9	Phosphate d'ammoniaque	»	20.30	»	20.30	9.9	19.8
10	Guano du Pérou	»	3.73	0.92	4.65	43.0	86.0

1. L'azotine renfermait 50 p. 100 environ de son azote à l'état soluble dans l'eau.

Les sarments poussés en 1884 ont été coupés le 19 mars 1885; ceux de 1885 ont été récoltés le 18 mars 1886. La taille a été faite à dessein tardivement, pour éviter un bourgeonnement trop rapide et les effets désastreux des gelées printanières, si fréquentes dans les Landes.

Tout le bois provenant d'une même rangée a été réuni en paquet, pesé aussitôt à l'état vert, puis abandonné à la dessiccation au libre contact de l'air, et pesé de nouveau; la différence de poids représentait la perte à l'air. Les sarments ainsi desséchés ont été divisés en fragments de 2 à 3 centimètres de longueur à l'aide d'une sorte de hache-paille, puis passés au moulin à engrais pour les réduire en fragments de plus en plus petits. Une partie de la masse pulvérisée a été desséchée à 110°; une autre a servi au dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl, et le reste a été incinéré à basse température.

On trouvera plus loin les résultats de l'analyse chimique; nous donnons d'abord dans le tableau II ci-après les poids de sarments récoltés sur 100 ceps, à l'état vert, séchés partiellement à l'air et desséchés à 110°, avec les pertes correspondantes d'humidité et les proportions de matière sèche :

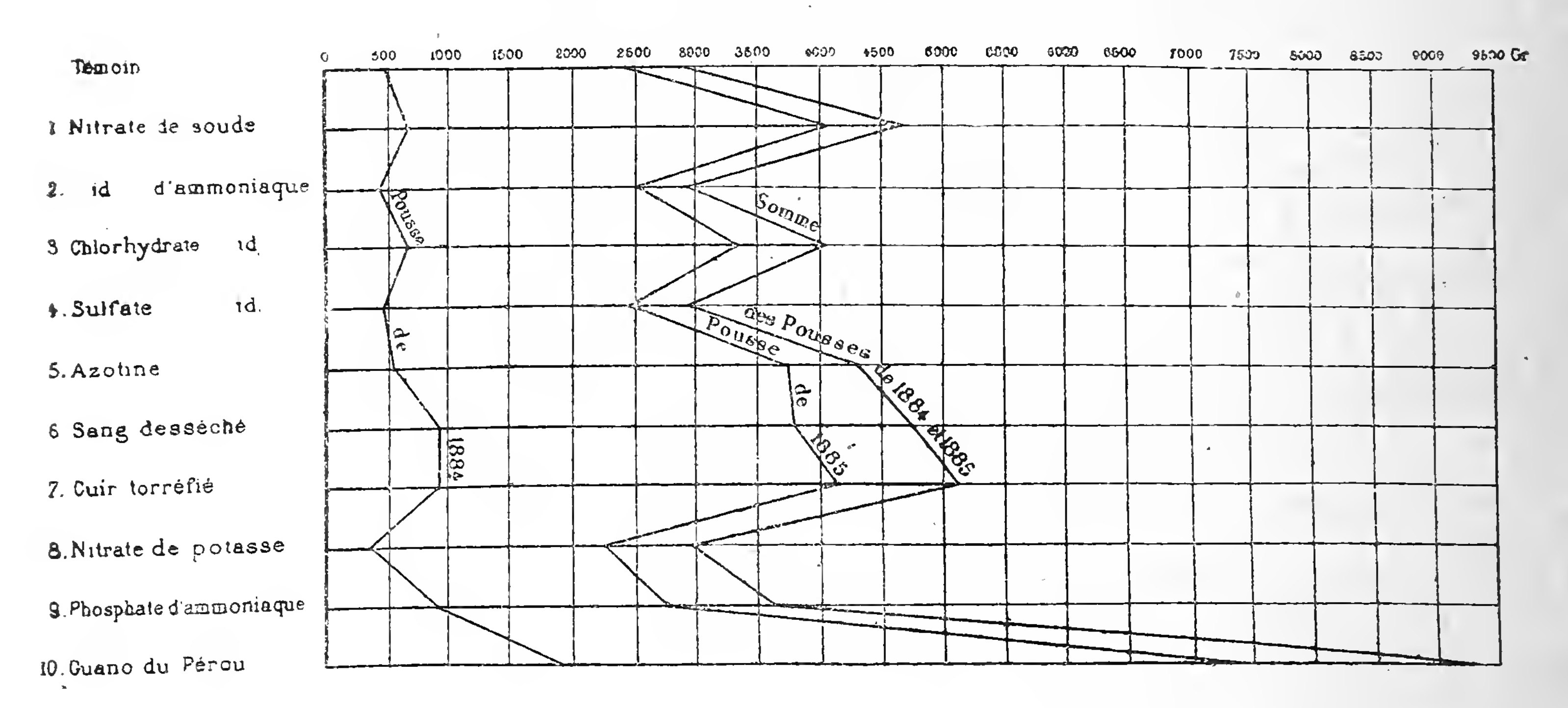
TABLEAU II. — Engrais azotés. — Sarments récoltés sur 100 pieds de vigne.

NUMÉROS D'ORDRE.	ENGRAIS mis en expérience.	POUSSE DE 1884. — 1re application : 2 gr. d'azote par pied.						POUSSE DE 1885. — 2e application : 4 gr. d'azote par pied.						ENSEMBLE des pousses de 1884 et de 1885. —		
		Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments		
		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 110°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 110°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 110°.
		Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.
	Témoin	485	318	277	34.6	42.9	57.1	2420	1535	1356	36.3	43.8	56.2	2905	1853	1633
1	Nitrate de soude	622	419	364	32.6	41.4	58.6	4043	2543	2245	37.1	44.5	55.5	4665	2962	2609
2	— d'ammoniaque . . .	423	272	237	35.7	43.9	56.1	2494	1542	1357	38.2	45.6	54.4	2917	1814	1594
3	Chlorhydrate d'ammoniaque.	686	467	407	31.9	40.7	59.3	3353	2118	1883	36.8	43.9	56.1	4039	2585	2290
4	Sulfate d'ammoniaque . . .	473	323	280	31.7	40.8	59.2	2471	1609	1435	34.9	41.9	58.1	2944	1932	1715
5	Azotine	884	545	475	38.3	46.3	53.7	3745	2523	2237	32.6	40.3	59.7	4290	2862	2712
6	Sang desséché	918	613	537	35.3	43.4	56.6	3807	2410	2133	36.7	44.0	56.0	4755	3023	2670
7	Cuir torréfié	910	601	525	36.1	44.1	55.9	4167	2616	2339	36.5	43.9	56.1	5107	3217	2864
8	Nitrate de potasse.	320	219	190	31.6	40.7	59.3	2270	1428	1259	37.1	44.6	55.4	2590	1647	1149
9	Phosphate d'ammoniaque . .	903	588	515	34.9	43.0	57.0	2722	1700	1499	37.6	44.9	55.1	3625	2288	2014
10	Guano du Pérou	1912	1183	1036	38.1	45.8	54.2	7366	4570	4014	38.0	45.1	54.9	9278	5753	5086

Pour montrer d'un seul coup d'œil l'influence relative des engrais azotés, on a représenté, dans le diagramme suivant, les diverses récoltes de sarments faites sur 100 pieds de vigne, par des longueurs proportionnelles à leurs poids :

Engrais azotés.

Poids, à l'état vert, des sarments récoltés sur 100 *pieds.*
Pousses de 1884 *et de* 1885.



Si, pour mieux apprécier l'influence de ces divers engrais sur la végétation de la vigne, on retranche des poids obtenus les poids de sarments récoltés sur les pieds témoins, on obtient le tableau III, où les substances fertilisantes sont classées d'après l'importance décroissante de leurs effets :

TABLEAU III. — Classement des engrais azotés.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	EXCÈS DE RÉCOLTE sur le rang témoin			RAPPORT DES RÉCOLTES au témoin		
		en 1884.	en 1885.	Total.	en 1884.	en 1885.	Total.
		gr.	gr.	gr.			
1	Guano	1427	4946	6373	3.94	3.04	3.19
2	Cuir torréfié.	455	1747	2202	1.94	1.72	1.76
3	Sang desséché.	463	1387	1850	1.95	1.57	1.64
4	Nitrate de soude	137	1623	1760	1.28	1.67	1.61
5	Azotine.	60	1325	1385	1.12	1.55	1.48
6	Chlorhydrate d'ammoniaque.	201	933	1134	1.41	1.39	1.39
7	Phosphate —	418	302	720	1.86	1.12	1.24
8	Sulfate —	— 12	51	39	0.98	1.02	1.01
9	Nitrate —	— 62	74	12	0.87	1.03	1.00
10	— de potasse.	—165	—150	—315	0.66	0.94	0.89
	Témoin.	0	0	0	1.00	1.00	1.00

L'examen du diagramme et des tableaux qui précèdent montre que :

1° Les deux essais successifs ont donné des résultats concordants, car l'influence relative des engrais, pour des doses égales d'azote, a été la même en 1884 et en 1885.

2° Le sulfate d'ammoniaque et le nitrate d'ammoniaque, le nitrate de potasse lui-même, malgré la présence de la potasse, ont produit des effets nuls ou négatifs ; ils ont été plutôt nuisibles qu'utiles à la végétation de la vigne.

3° Le phosphate d'ammoniaque a donné de meilleurs résultats, mais il faut les attribuer en grande partie à l'action de l'acide phosphorique, dont le rôle a été considérable, comme le montreront plus loin les essais faits avec des engrais phosphatés.

4° Le chlorhydrate d'ammoniaque, et surtout le nitrate de soude, sont les seuls engrais simples solubles qui aient accru notablement le poids des sarments récoltés.

La supériorité du chlorhydrate d'ammoniaque sur les autres engrais ammoniacaux est liée à une plus grande facilité d'absorption de ce sel par le sol du champ d'expériences: Un essai fait

avec 75 gr. de terre et 150 centim. cubes de solutions renfermant 3 à 4 gr. d'AzH^3 par litre ont en effet donné après 24 heures :

NOM DU SEL EMPLOYÉ.		POIDS D'AzH^3 fixé par kilogr. de terre.
Chlorhydrate d'ammoniaque		0gr,40
Sulfate	Id.	0 ,28
Nitrate	Id.	0 ,08

Dans les mêmes conditions, le nitrate de soude a cédé plus d'azote nitrique au sol que les nitrates d'ammoniaque et de potasse.

5° Malgré la richesse relative du sol en azote organique, ce sont les trois engrais qui renferment l'azote sous cette même forme organique, le cuir torréfié, le sang desséché et l'azotine, qui ont donné le plus de bois. L'azotine ne vient qu'au troisième rang, bien que la moitié de son azote fût à l'état soluble. Dans ses divers états de combinaison, l'azote organique ne possède donc pas la même valeur fertilisante, soit qu'il se dégage avec une vitesse inégale des matières animales et végétales en décomposition, soit qu'il ait des aptitudes différentes à subir la nitrification.

6° C'est le guano qui a déterminé le développement maximum ; il a plus que triplé la récolte des pieds témoins ; mais, comme pour le phosphate d'ammoniaque, il faut faire une large part à son acide phosphorique.

7° En résumé, dans les conditions où ont été faits les essais de Pierroton, les diverses formes d'azote, relativement à leur valeur fertilisante pour la vigne, se classent ainsi : 1° azote organique ; 2° azote nitrique (nitrate de soude) ; 3° azote ammoniacal.

Ces résultats sont conformes à l'opinion de M. L. Grandeau qui donne la préférence, pour la vigne, aux engrais azotés à décomposition lente ou organique sur le nitrate de potasse et le sulfate d'ammoniaque [1].

M. Joulie préfère au contraire les engrais minéraux, et, parmi ceux-ci, il place les nitrates de soude ou de potasse avant le sulfate d'ammoniaque [2]. Ce classement des engrais azotés minéraux, sauf

1. *Études agronomiques*, 3e série, p. 165 ; 1888.

2. *Guide pour l'achat et l'emploi des engrais chimiques*, 5e édit., p. 354 ; 1876. — *Bulletin de la Société des Agriculteurs de France*, T. XV, p. 255 ; 1883, et T. XVII, p. 660 ; 1885.

pourtant pour le sel de potasse, est le même que dans les expériences comparatives rapportées ci-dessus.

2° Engrais phosphatés.

On a comparé les engrais suivants, à doses égales d'acide phosphorique total :

1° Phosphate minéral pulvérisé ;
2° Cendre d'os pulvérisée ;
3° Phosphate acide de chaux, en solution aqueuse [1] ;
4° Superphosphate minéral ;
5° Superphosphate d'os ;
6° Phosphate précipité ;
7° Phosphate d'ammoniaque.

La première application a été faite avec 2 grammes et la seconde application avec 4 grammes d'acide phosphorique total par pied de vigne.

Les poids d'engrais employés à cet effet ont été déterminés, après analyse, comme suit :

TABLEAU IV. — Composition des engrais phosphatés ; poids employé par cep.

NUMÉROS D'ORDRE.	ENGRAIS mis en expérience.	EXPÉRIENCE DE 1884. Richesse de l'engrais en acide phosphorique					EXPÉRIENCE DE 1885. Richesse de l'engrais en acide phosphorique				
		soluble à l'eau.	soluble au citrate.	insoluble.	Total.	Poids d'engrais employé par pied.	soluble à l'eau.	soluble au citrate.	insoluble.	Total.	Poids d'engrais employé par pied.
		p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	Gr.	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	Gr.
1	Phosphate minéral. . . .	»	»	30.85	30.85	6,5	»	»	30.85	30.85	13,0
2	Cendre d'os	»	»	39.94	39.94	5,0	»	»	39.94	39.94	10,0
3	Phosphate acide de chaux.	45.23	»	»	45.23	4,4	45.23	»	»	45.23	8,8
4	Superphosphate minéral .	22.44	2.16	0.40	25.00	8,0	16.40	3.95	0.25	20.60	19,4
5	— d'os . . .	14.12	2.30	1.14	17.56	11,4	15.95	2.40	3.55	21.90	18,3
6	Phosphate précipité . . .	»	23.54	23.04	46.58	4,3	»	23.54	23.04	46.58	8,6
7	— d'ammoniaque.	52.68	»	»	52.68	3,8	52.68	»	»	52.68	7,6

1. Ce phosphate n'est pas employé pratiquement comme engrais, mais on l'a mis néanmoins dans la liste, pour comparer l'acide phosphorique entièrement soluble dans l'eau avec l'acide phosphorique soluble dans le citrate et l'acide phosphorique insoluble.

TABLEAU V. — **Engrais phosphatés.** — Sarments récoltés sur 100 pieds de vigne.

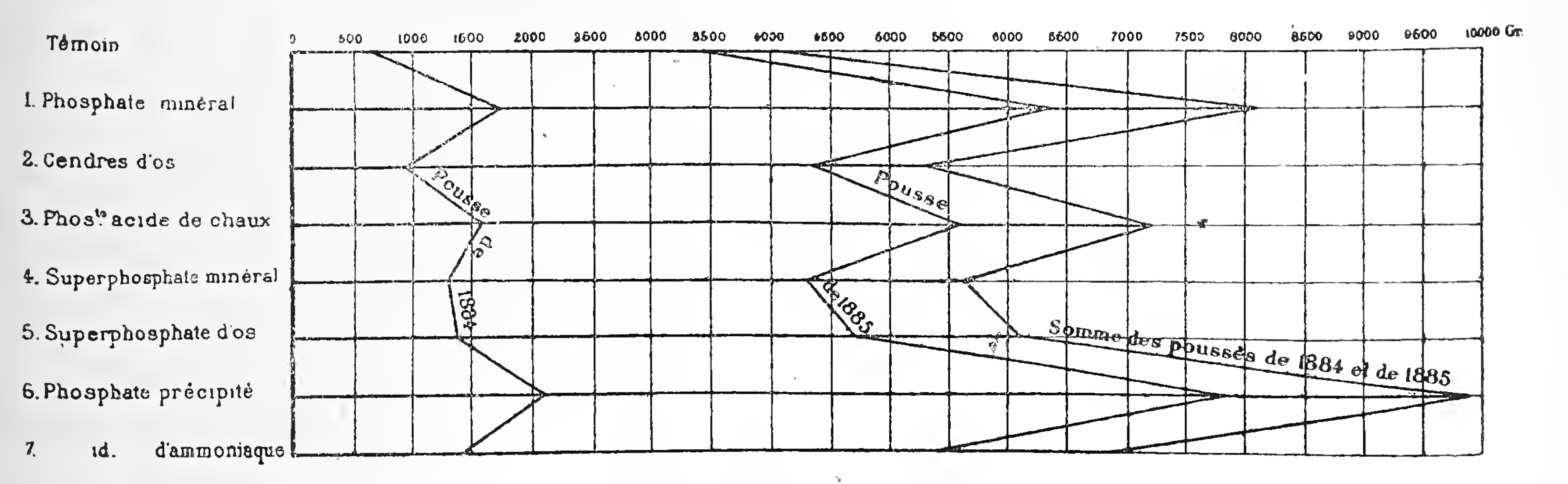
NUMÉROS D'ORDRE.	ENGRAIS mis en expérience.	POUSSE DE 1884. — 1re application : 2 gr. d'acide phosphorique par pied. Poids des sarments à l'état vert.	Poids des sarments séchés à l'air.	Poids des sarments des-séchés à 110°.	Proportion d'eau perdue à l'air.	Proportion d'eau totale.	Proportion de matière sèche à 110°.	POUSSE DE 1885. — 2e application : 4 gr. d'acide phosphorique par pied. Poids des sarments à l'état vert.	Poids des sarments séchés à l'air.	Poids des sarments des-séchés à 110°.	Proportion d'eau perdue à l'air.	Proportion d'eau totale.	Proportion de matière sèche à 110°.	ENSEMBLE des pousses de 1884 et de 1885. — Poids des sarments à l'état vert.	Poids des sarments séchés à l'air.	Poids des sarments des-séchés à 110°.
		Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.
	Témoin.	657	424	374	35.3	43.0	57.0	3443	2229	1956	35.5	43.2	56.8	4100	2653	2330
1	Phosphate minéral.	1739	1085	951	37.6	45.3	54.7	6330	4045	3580	36.1	43.5	56.5	8069	5030	4531
2	Cendre d'os	934	593	519	36.5	44.4	55.6	4318	2739	2400	37.0	44.7	55.3	5282	3332	2919
3	Phosphate acide de chaux. .	1614	1010	880	37.4	45.5	54.5	5606	3510	3087	37.4	44.9	55.1	7220	4520	3967
4	Superphosphate minéral. .	1315	815	724	38.0	44.9	55.1	4292	2662	2335	38.0	45.6	54.4	5607	3477	3059
5	— d'os. . . .	1385	861	764	37.8	44.8	55.2	4725	3133	2732	33.7	42.2	57.8	6110	3994	3496
6	Phosphate précipité	2084	1320	1148	36.7	44.9	55.1	7817	5215	4574	33.3	41.5	58.5	9901	6535	5722
7	— d'ammoniaque. .	1438	876	783	39.1	45.5	54.5	5443	3603	3169	33.8	41.8	58.2	6881	4479	3952

La récolte des sarments, traitée comme il a été dit dans l'étude des engrais azotés, est donnée dans le tableau V.

Si l'on ne tient compte que du poids des sarments à l'état vert, la comparaison des effets des engrais phosphatés se fait aisément à l'aide du diagramme ci-après :

Engrais phosphatés.

Poids, à l'état vert, des sarments récoltés sur 100 *pieds.*
Pousses de 1884 *et de* 1885.



Si l'on retranche du poids des récoltes le poids des sarments recueillis dans la ligne témoin, on a la mesure de l'influence de chacun des engrais essayés. Le tableau suivant présente les nombres ainsi obtenus et classe les substances fertilisantes suivant l'ordre inverse de leur activité.

TABLEAU VI. — Classement des engrais phosphatés.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	EXCÈS DE RÉCOLTE sur le rang témoin			RAPPORT des récoltes au témoin		
		en 1884.	en 1885.	total.	en 1884	en 1885.	total.
		gr.	gr.	gr.			
1	Phosphate précipité. . . .	1427	4374	5801	3.17	2.27	2.41
2	— minéral	1082	2887	3969	2.65	1.84	1.97
3	— acide de chaux .	957	2163	3120	2.45	1.63	1.76
4	— d'ammoniaque . .	781	2000	2781	2.19	1.58	1.68
5	Superphosphate d'os . . .	728	1282	2010	2.11	1.37	1.49
6	— minéral . .	658	849	1507	2.00	1.25	1.37
7	Cendre d'os	277	905	1182	1.42	1.26	1.29
	Témoin.	0	0	0	1.00	1.00	1.00

Comme on l'a déjà constaté pour les engrais azotés, les effets respectifs des divers phosphates ont été concordants dans les deux séries d'essais.

En général, l'influence de l'acide phosphorique sur la végétation du *Cabernet* a été beaucoup plus marquée que celle de l'azote, ce qui peut s'expliquer, soit parce que le sol était plus pauvre en phosphates qu'en matière azotée, soit parce que les phosphates ont été fixés par le sol et n'ont pas été entraînés par les pluies.

Le phosphate précipité a donné les meilleurs résultats ; son action égale presque celle du guano, bien que ce dernier engrais contînt de l'azote et une dose plus élevée d'acide phosphorique (24 gr. par cep, au lieu de 6, pour les deux années). M. Joulie recommande précisément les phosphates précipités pour les terres siliceuses légères et pour les terres riches en débris organiques et manquant de calcaires[1], comme celles des Landes et du champ d'expériences.

Le phosphate minéral s'est montré très actif et notablement supérieur aux deux superphosphates. La vigne dans les sols siliceux s'accommode donc très bien de l'acide phosphorique non soluble dans l'eau, comme d'ailleurs la plupart des plantes cultivées dans les mêmes sols (L. Grandeau[2]).

On ne peut invoquer ici, pour expliquer les bons effets du phosphate minéral insoluble, l'acidité d'un sol récemment défriché, puisque, même avec la méthode si sensible de M. de Mondesir (voir page 3), on n'a pu déceler traces d'acide dans la terre de Pierroton. D'autre part, l'infériorité des superphosphates ne tient pas à leur acidité, puisque, malgré son acidité propre, le phosphate acide de chaux s'est montré plus assimilable que ces superphosphates.

La cendre d'os constitue un engrais très inférieur aux autres.

Quant au phosphate d'ammoniaque, il a produit des effets satisfaisants, comparables à ceux du phosphate acide de chaux.

En ne considérant que les substances vraiment pratiques et en faisant abstraction de leur valeur commerciale, on voit que les phos-

---

1. *Bulletin de la Société des Agriculteurs de France*, T. XVII, p. 657 ; 1885.

2. *Comptes rendus des travaux du Congrès international des directeurs de Stations agronomiques*, p. 336 ; 1881. — *Études agronomiques*, 3e série, p. 87 et 204 ; 1888.

phates se classent dans l'ordre suivant : 1° phosphates précipités ; 2° phosphates minéraux ; 3° superphosphates ; 4° cendres d'os [1].

3° Engrais potassiques.

Les engrais essayés sont :

1° Chlorure de potassium ;

2° Sulfate de potasse ;

3° Carbonate de potasse en solution aqueuse ;

4° Sulfure de potassium ;

5° Sulfocarbonate de potasse en solution très étendue.

Ces deux derniers étant employés comme insecticides contre le phylloxera, il était intéressant de déterminer dans quelle mesure ils agissaient aussi comme engrais.

En 1884, on a mis 3 grammes de potasse (KO) par pied.

En 1885, on en a mis 4 grammes.

Les poids correspondants d'engrais et leur composition sont donnés par le tableau ci-dessous :

TABLEAU VII. — Composition des engrais potassiques ; poids employé par cep.

NUMÉROS d'ordre.	ENGRAIS MIS EN EXPÉRIENCE.	RICHESSE de l'engrais en potasse.	POIDS D'ENGRAIS employé par pied	
			en 1884.	en 1885.
		p. 100	gr.	gr.
1	Chlorure de potassium	49.07	6,1	8,4
2	Sulfate de potasse.	53.65	5,6	7,5
3	Carbonate de potasse.	54.88	5,5	7,3
4	Sulfure de potassium.	29.54	10,2	13,5
5	Sulfocarbonate de potasse	22.27	13,5	18,0

Les récoltes obtenues, pesées à l'état vert et à l'état sec, sont inscrites dans le tableau VIII :

1. Au moment où ces expériences ont été faites, on connaissait peu les scories de déphosphoration, dont la valeur fertilisante a été établie depuis par les expériences et les publications de M. L. Grandeau.

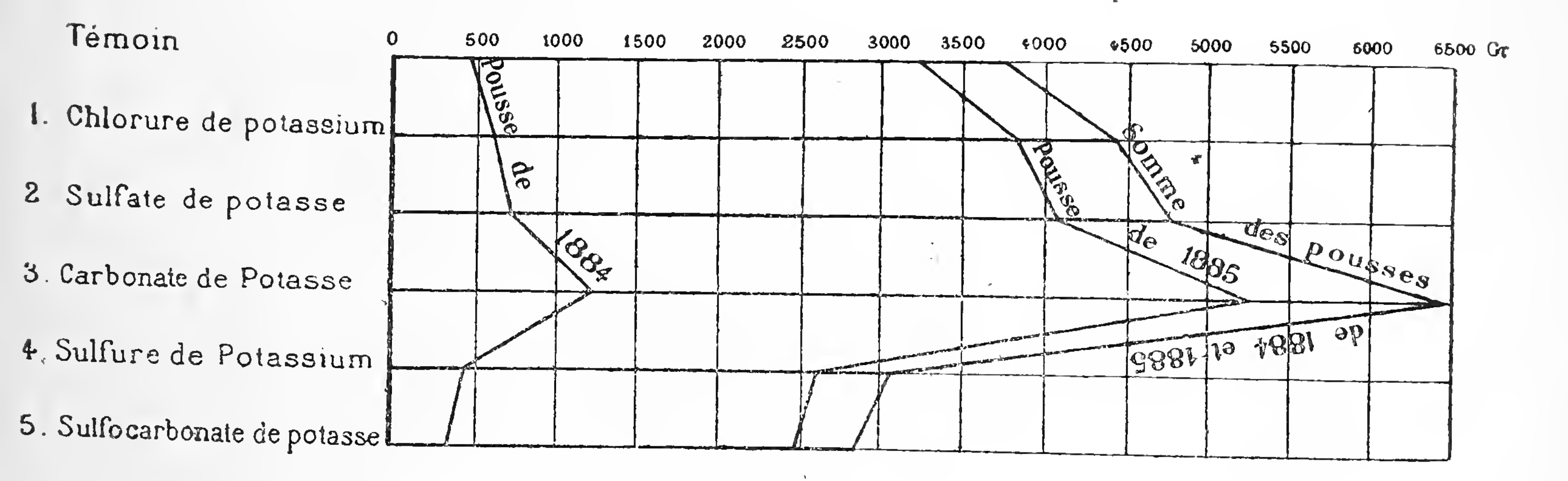
TABLEAU VIII. — Engrais potassiques. — Sarments récoltés sur 100 pieds de vigne.

NUMÉROS D'ORDRE.	ENGRAIS mis en expérience.	POUSSE DE 1884. — 1re application : 3 gr. de potasse par pied.						POUSSE DE 1885. — 2e application : 4 gr. de potasse par pied.						ENSEMBLE des pousses de 1884 et de 1885.		
		Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments		
		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 110°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 111°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	desséchés à 110°.
		Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.
	Témoin	492	316	281	35.8	42.9	57.1	3209	2034	1788	36.6	44.3	55.7	3701	2350	2069
1	Chlorure de potassium. . .	598	404	352	32.4	41.1	58.9	3841	2585	2280	32.7	40.6	59.4	4439	2989	2632
2	Sulfate de potasse.	681	446	399	34.5	41.4	58.6	4085	2635	2319	35.5	43.3	56.7	4766	3081	2718
3	Carbonate de potasse. . . .	1213	745	663	38.6	45.3	54.7	5234	3501	3059	33.1	41.6	58.4	6447	4246	3722
4	Sulfure de potassium. . . .	449	300	268	33.2	40.3	59.7	2609	1772	1549	32.1	40.6	59.4	3058	2072	1817
5	Sulfocarbonate de potasse. .	330	213	190	35.5	42.4	57.6	2494	1729	1508	30.7	39.5	60.5	2824	1942	1698

Le diagramme suivant, où les abscisses sont proportionnelles aux poids de sarments verts récoltés sur 100 pieds, fait bien ressortir les influences respectives des engrais mis en expérience et la concordance des résultats obtenus en 1884 et en 1885.

Engrais potassiques.

Poids, à l'état vert, des sarments récoltés sur 100 *pieds.*
Pousses de 1884 *et de* 1885.



En retranchant la récolte témoin, ou en la prenant comme unité, on obtient le tableau suivant, où les engrais sont classés d'après l'ordre inverse de leur efficacité.

TABLEAU IX. — Classement des engrais potassiques.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	EXCÈS DE RÉCOLTE sur le rang témoin. En 1884.	En 1885.	Total.	RAPPORT DES RÉCOLTES au témoin. En 1884.	En 1885.	Total.
		Gr.	Gr.	Gr.			
1	Carbonate de potasse . .	721	2025	2746	2.47	1.63	1.74
2	Sulfate de potasse. . . .	189	876	1065	1.38	1.27	1.29
3	Chlorure de potassium . .	106	632	738	1.22	1.20	1.20
4	Sulfure de potassium . .	— 43	— 600	— 643	0.91	0.81	0.83
5	Sulfocarbonate de potasse.	— 162	— 715	— 877	0.67	0.78	0.76
	Témoin	0	0	0	1.00	1.00	1.00

On voit que, dans les conditions des essais, les sels de potasse habituellement employés comme engrais, se classent comme suit au

point de vue de leur assimilabilité pour la vigne : 1° carbonate ; 2° sulfate ; 3° chlorure. C'est, pour ces trois sels, l'ordre adopté par M. Joulie[1]. M. Audoynaud a trouvé au contraire le carbonate de potasse moins efficace que le sulfate et le chlorure[2] ; mais ces différences peuvent tenir à la nature du sol.

Un essai fait sur le pouvoir absorbant de la terre de Pierredan pour la potasse de ces trois engrais a donné, après 24 heures de contact :

NOM DU SEL EMPLOYÉ	POIDS DE KO fixée par 1 kilogr. de terre.
Carbonate de potasse	1gr,60
Sulfate de potasse	0 ,92
Chlorure de potassium	0 ,52

C'est précisément l'ordre de leur assimilabilité.

Quant au sulfure de potassium et au sulfocarbonate de potasse, loin d'agir comme substances fertilisantes, ils ont au contraire nui à la végétation de la vigne. M. Audoynaud a cité des faits analogues dans le traitement du *Carignan* par le sulfocarbonate[3].

4° — Engrais calciques et magnésiens.

On a expérimenté la chaux sous les trois formes :

1° Carbonate de chaux ;

2° Sulfate de chaux ;

3° Chlorure de calcium en solution aqueuse ;

Et la magnésie sous les deux formes :

4° Carbonate de magnésie ;

5° Sulfate de magnésie.

En 1884, pour la première application, on a mis, par pied, 5 grammes de chaux (CaO) et 1 gramme de magnésie (MgO) ;

En 1885, pour la deuxième application, on a mis encore 5 grammes de chaux, mais 2 grammes de magnésie.

1. *Bulletin de la Société des agriculteurs de France,* T. XVII, p. 658 ; 1885.
2. *Annales agronomiques,* T. III, p. 50 ; 1877.
3. *Id.,* p. 58.

La composition des engrais essayés et les poids employés sont donnés par le tableau suivant :

TABLEAU X. — Composition des engrais calciques et magnésiens ; poids employé par cep.

NUMÉROS d'ordre.	ENGRAIS mis en expérience.	RICHESSE de l'engrais.	POIDS D'ENGRAIS employé par pied. En 1884.	En 1885.
		P. 100.	Gr.	Gr.
1	Carbonate de chaux.	46.30 de CaO	10,8	10,8
2	Sulfate de chaux.	34.60 —	14,5	14,5
3	Chlorure de calcium	24.50 —	20,4	20,4
4	Carbonate de magnésie . . .	40.90 de MgO	2,4	4,8
5	Sulfate de magnésie.	12.60 —	7,9	15,8

Les poids de récoltes à l'état vert et à l'état sec, les proportions d'humidité et de matière sèche sont indiqués dans le tableau XI.

Par un diagramme, on voit immédiatement l'influence relative de ces divers engrais :

Engrais calciques et magnésiens.

Poids, à l'état vert, des sarments récoltés sur 100 *pieds. Pousses de* 1884 *et de* 1885.

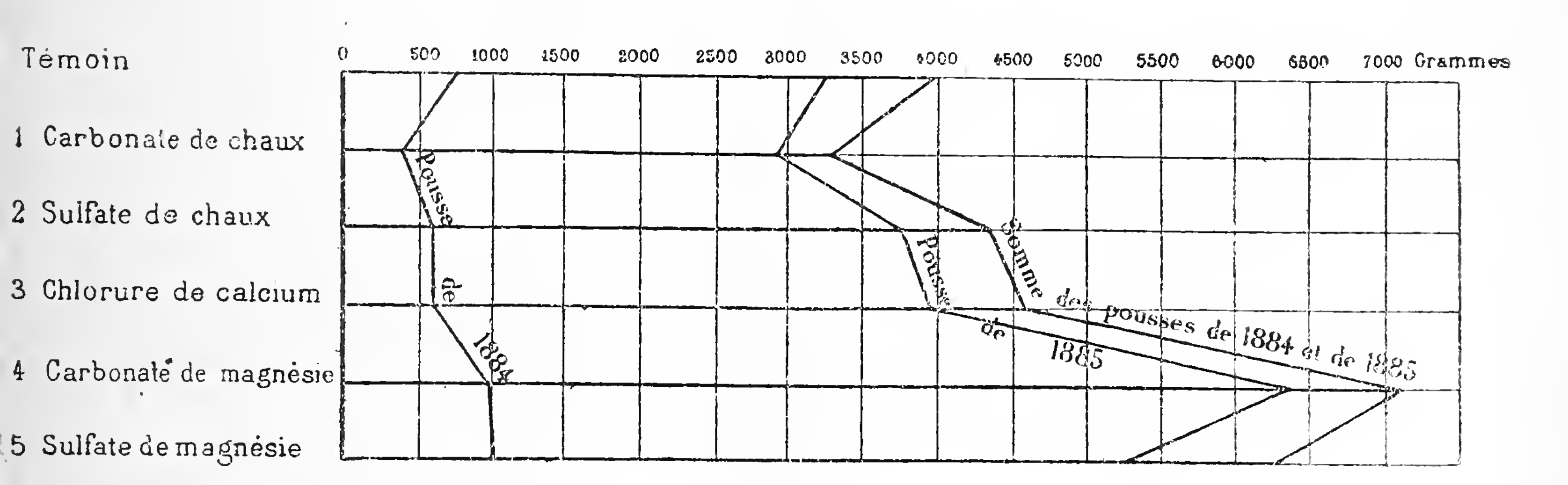


TABLEAU XI. — Engrais calciques et magnésiens. — Sarments récoltés sur 100 pieds de vigne.

NUMÉROS D'ORDRE.	ENGRAIS mis en expérience.	POUSSE DE 1884. 1re application : 5 gr. de chaux par pied. 1 gr. de magnésie par pied.						POUSSE DE 1885. 2e application : 5 gr. de chaux par pied. 2 gr. de magnésie par pied.						ENSEMBLE des pousses de 1884 et de 1885.		
		Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments			Proportion d'eau		Proportion de matière sèche à 110°.	Poids des sarments		
		à l'état vert.	séchés à l'air.	des-séchés à 110°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	des-séchés à 110°.	perdue à l'air.	totale.		à l'état vert.	séchés à l'air.	des-séchés à 110°.
		Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	Gr.	Gr.	Gr.
	Témoin	724	454	401	36.9	44.3	55.7	3254	2061	1810	36.7	44.4	55.6	3978	2515	2211
1	Carbonate de chaux	385	255	224	33.7	41.8	58.2	2925	1893	1669	35.3	42.9	57.1	3310	2148	1893
2	Sulfate de chaux	577	372	327	35.5	43.3	56.7	3750	2156	2146	31.5	42.8	57.2	4327	2828	2473
3	Chlorure de calcium	600	338	341	35.3	43.2	56.8	3989	2717	2368	31.9	40.7	59.3	4589	3105	2709
4	Carbonate de magnésie	993	610	536	38.6	45.0	55.0	6087	3859	3388	36.6	44.3	55.7	7030	4469	3924
5	Sulfate de magnésie	1011	628	551	37.8	45.5	54.5	5247	3271	2873	37.6	45.3	54.7	6258	3902	3124

Comparons les récoltes au témoin, et nous aurons le tableau XII.

TABLEAU XII. — Classement des engrais calciques et des engrais magnésiens.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	EXCÈS DE RÉCOLTE sur le rang témoin.			RAPPORT DES RÉCOLTES au témoin.		
		En 1884.	En 1885.	Total.	En 1884.	En 1885.	Total.
		Gr.	Gr.	Gr.			
1	Chlorure de calcium . . .	— 124	735	611	0.83	1.23	1.15
2	Sulfate de chaux	— 147	496	349	0.80	1.15	1.09
3	Carbonate de chaux . . .	— 339	— 329	— 668	0.42	0.90	0.83
	Témoin	0	0	0	1.00	1.00	1.00
4	Carbonate de magnésie. .	269	2833	3102	1.37	1.87	1.78
5	Sulfate de magnésie . . .	287	1993	2280	1.40	1.61	1.57

Des trois engrais calciques mis en expérience, le chlorure de calcium s'est montré le plus assimilable ; ce résultat, rapproché de l'efficacité relative du chlorhydrate d'ammoniaque par rapport aux autres engrais ammoniacaux, semble indiquer que le chlore joue ici un rôle important.

Le sulfate de chaux, moins soluble que le chlorure de calcium, occupe le second rang ; quant au carbonate de chaux, non seulement il n'a pas favorisé la végétation du *Cabernet,* mais encore il l'a diminuée, ce qui est une nouvelle preuve de la non-acidité du sol.

Les résultats médiocres obtenus avec les sels de chaux, dans un sol qui ne renferme cependant que des traces de calcaire, ont lieu de surprendre, car on admet généralement que la chaux est indispensable à la vigne. D'après M. Joulie, elle exerce une action prépondérante pour la formation du bois et des feuilles [1], et un excès de ce corps ne peut être nuisible [2].

A côté des rangs traités par les engrais calciques, les deux rangs traités par les sels de magnésie ont au contraire présenté un accrois-

1. *Bulletin de la Société des agriculteurs de France,* T. XV, p. 257, 1883.
2. *Id.,* T. XVII, p. 658 ; 1885.

sement remarquable de végétation[1]. Le carbonate s'est montré plus efficace que le sulfate. La magnésie est donc, comme l'a remarqué M. Joulie[2], fort utile à la vigne ; et, bien que les sols en soient généralement pourvus, il est avantageux d'en ajouter de petites quantités à l'état de combinaison saline[3].

En résumé, pour le sol des Landes et pour le *Cabernet sauvignon,* l'engrais le plus convenable pour le développement du bois et des feuilles devrait être formé des substances suivantes :

1° Phosphate précipité ou phosphate minéral ;
2° Carbonate ou sulfate de magnésie ;
3° Carbonate de potasse ;
4° Nitrate de soude ou engrais azoté organique ;
5° Sulfate de chaux.

La formule complète, comprenant les proportions de ces diverses substances, ne pourrait être établie que par de nouveaux essais comparatifs.

II.

Pour compléter cette étude, connaître les exigences du *Cabernet sauvignon,* et apprécier l'influence des divers engrais sur sa composition chimique, on a fait l'analyse[4] de tous les sarments récoltés en 1884 et en 1885. On ne donnera en détail que les chiffres relatifs à la dernière récolte, et l'on résumera les autres dans des tableaux comparatifs. Tous les témoins de chaque année ont été réunis en un seul.

Le tableau XIII indique d'abord les proportions de matières organiques et de cendres contenues dans les sarments secs, avec la composition centésimale des cendres.

---

1. J'ai signalé, en 1886, à la Société d'agriculture de la Gironde, les curieux effets de la magnésie (*Annales de la Société,* T. XLI, p. 76).

2. *Bulletin de la Société des agriculteurs de France,* T. XV, p. 257 ; 1883.

3. M. Dejardin fait jouer à la magnésie un rôle important dans la résistance de la vigne au phylloxera (*Journal de l'agriculture,* n^{os} de juin et juillet 1887).

4. Ce travail, long et pénible, a pu être mené à bonne fin, grâce au concours intelligent et dévoué de MM. Alekan et Labade, préparateurs à la Station agronomique de Bordeaux.

TABLEAU XIII. — Récolte de 1885. — Incinération et analyse des cendres.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	MATIÈRES orga-niques.	CENDRES.	COMPOSITION DES CENDRES.			
				Acide phosphorique.	Potasse.	Chaux.	Magnésie.
		p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
	Moyenne des témoins . . .	97.6	2.4	8.57	22.09	23.98	10.55
	I. — *Engrais azotés.*						
1	Nitrate de soude	97.8	2.2	8.50	22.89	23.69	10.26
2	— d'ammoniaque . . .	97.4	2.6	8.50	21.55	24.22	10.28
3	Chlorhydrate d'ammoniaque.	97.7	2.3	8.92	21.94	24.22	10.80
4	Sulfate d'ammoniaque . . .	97.7	2.3	9.12	22.51	24.22	10.48
5	Azotine	97.5	2.5	9.02	21.17	23.64	10.34
6	Sang desséché	97.6	2.4	8.86	21.75	23.64	10.41
7	Cuir torréfié	97.6	2.4	8.40	21.94	24.35	10.41
8	Nitrate de potasse.	97.3	2.7	7.40	24.14	22.25	9.70
9	Phosphate d'ammoniaque. .	97.4	2.6	8.70	21.42	23.70	10 08
10	Guano	97.4	2.6	9.09	21.94	23.90	9.36
	II. — *Engrais phosphatés.*						
1	Phosphate minéral.	97.7	2.3	8.70	21.27	25.21	9.47
2	Cendre d'os	97.6	2.4	8.96	21.08	27.19	10.22
3	Phosphate acide de chaux. .	97.6	2.4	8.92	22.14	23.04	10.23
4	Superphosphate minéral . .	97.6	2.4	8.61	22.90	23.89	10.40
5	— d'os. . . .	97.4	2.6	8.70	19.08	23.40	10.08
6	Phosphate précipité	97.5	2.5	8.32	20.41	25.87	9.22
7	— d'ammoniaque . .	97.5	2.5	8.32	22.13	23.15	9.85
	III. — *Engrais potassiques.*						
1	Chlorure de potassium. . .	97.4	2.6	8.70	22.23	24.72	9.50
2	Sulfate de potasse.	97.4	2.6	7.28	24.80	21.09	10.80
3	Carbonate de potasse. . . .	97.5	2.5	8.92	24.23	22.58	11.29
4	Sulfure de potassium. . . .	97.4	2.6	8.08	24.80	22.25	11.16
5	Sulfocarbonate de potasse. .	97.5	2.5	8.85	22.90	22.50	10.41
	IV. — *Engrais calciques et magnésiens.*						
1	Carbonate de chaux	97.6	2.4	9.16	21.75	24.80	10.48
2	Sulfate de chaux	97.6	2.4	10.24	19.17	24.72	11.23
3	Chlorure de calcium. . . .	97.7	2.3	9.60	22.90	22.58	11.81
4	Carbonate de magnésie. . .	97.6	2.4	8.45	21.75	25.66	10.34
5	Sulfate de magnésie. . . .	97.7	2.3	8.85	21.94	24.22	10.34

En comparant les moyennes de ces résultats pour les divers groupes d'engrais avec les moyennes déduites des analyses des sarments récoltés en 1884, on forme les tableaux XIV et XV :

TABLEAU XIV. — Comparaison des proportions de matières organiques et de cendres.

	RÉCOLTE DE 1884.		RÉCOLTE DE 1885.	
	MATIÈRES organiques.	CENDRES.	MATIÈRES organiques.	CENDRES.
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Témoins.	97.2	2.8	97.6	2.4
Engrais azotés.	97.2	2.8	97.5	2.5
— phosphatés.	97.2	2.8	97.6	2.4
— potassiques	97.3	2.7	97.4	2.6
— calciques	97.3	2.7	97.6	2.4
— magnésiens	97.5	2.5	97.7	2.3
Moyenne générale	97.2	2.8	97.6	2.4

Malgré les faibles différences que présentent ces nombres, on constate cependant, pour les deux années, plus de matière organique et moins de cendres avec les engrais magnésiens qu'avec les autres. Les sarments venus sur des pieds plus jeunes renferment un peu plus de matières minérales que les sarments récoltés sur des bois plus âgés. M. Audoynaud a trouvé des différences de même sens pour le *Carignan*[1].

TABLEAU XV. — Comparaison de la composition des cendres.

	RÉCOLTE DE 1884.				RÉCOLTE DE 1885.			
	Acide phosphorique.	Potasse.	Chaux.	Magnésie.	Acide phosphorique.	Potasse.	Chaux.	Magnésie.
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Témoins.	8.41	20.37	24.40	10.14	8.57	22.09	23.98	10.55
Engrais azotés.	8.11	19.45	22.70	10.30	8.65	22.12	23.78	10.21
— phosphatés	8.29	19.52	25.69	9.92	8.65	21.29	24.53	9.93
— potassiques	8.15	21.17	25.62	10.41	8.37	23.79	22.63	10.63
— calciques	8.55	20.22	25.18	10.62	9.67	21.27	24.03	11.17
— magnésiens	8.76	21.03	25.27	11.88	8.65	21.84	24.94	10.34
Moyenne générale	8.28	20.05	22.59	10.31	8.69	22.10	23.89	10.37

1. *Annales agronomiques,* T. III, p. 53 ; 1877.

Ces nombres moyens diffèrent peu d'une année à l'autre.

Connaissant les proportions de cendres contenues dans les sarments, on peut, à l'aide de la composition centésimale de ces cendres, calculer la teneur des récoltes en principes fertilisants minéraux. Le tableau XVI donne les résultats du calcul pour les sarments secs de 1885 ; on y a joint la richesse en azote déterminée directement par la méthode de Kjeldahl : . . . .

TABLEAU XVI. — Récolte de 1885. — Richesse des sarments secs en principes fertilisants.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
	Moyenne des témoins.	0.90	0.21	0.53	0.58	0.25
	I. — *Engrais azotés.*					
1	Nitrate de soude.	0.87	0.19	0.50	0.52	0.23
2	— d'ammoniaque.	0.91	0.22	0.56	0.63	0.27
3	Chlorhydrate d'ammoniaque . . .	0.84	0.21	0.50	0.56	0.25
4	Sulfate d'ammoniaque.	0.94	0.21	0.52	0.56	0.24
5	Azotine.	0.82	0.23	0.53	0.59	0.26
6	Sang desséché.	0.90	0.21	0.52	0.57	0.25
7	Cuir torréfié.	1.01	0.20	0.53	0.58	0.25
8	Nitrate de potasse	0.84	0.20	0.65	0.60	0.26
9	Phosphate d'ammoniaque.	1.07	0.23	0.56	0.62	0.26
10	Guano.	1.01	0.24	0.57	0.62	0.24
	II. — *Engrais phosphatés.*					
1	Phosphate minéral	0.95	0.20	0.49	0.58	0:22
2	Cendre d'os.	0.87	0.22	0.51	0.65	0.25
3	Phosphate acide de chaux	0.90	0.21	0.53	0.55	0.25
4	Superphosphate minéral	0.93	0.21	0.55	0.57	0.25
5	— d'os.	0.99	0.23	0.50	0.61	0.26
6	Phosphate précipité.	0.83	0.21	0.51	0.65	0.23
7	— d'ammoniaque	0.87	0.21	0.55	0.58	0.25

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
	III. — *Engrais potassiques.*					
1	Chlorure de potassium	0.91	0.23	0.58	0.64	0.25
2	Sulfate de potasse	0.91	0.19	0.64	0.55	0.28
3	Carbonate de potasse.	0.88	0.22	0.61	0.56	0.28
4	Sulfure de potassium.	0.90	0.21	0.64	0.58	0.29
5	Sulfocarbonate de potasse	0.92	0.22	0.57	0.56	0.26
	IV. — *Engrais calciques et magnésiens.*					
1	Carbonate de chaux.	0.87	0.22	0.52	0.60	0.25
2	Sulfate de chaux.	0.92	0.25	0.46	0.59	0.27
3	Chlorure de calcium	0.88	0.22	0.53	0.52	0.27
4	Carbonate de magnésie	0.83	0.20	0.52	0.62	0.25
5	Sulfate de magnésie	0.88	0.20	0.50	0.56	0.24

Si l'on compare les moyennes déduites de ce tableau avec celles de la récolte 1884, on obtient le tableau XVII :

TABLEAU XVII. — Comparaison de la richesse en éléments fertilisants.

		AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Témoins.	1884 . .	1.17	0.24	0.57	0.68	0.28
	1885 . .	0.90	0.21	0.53	0.58	0.25
Engrais azotés	1884 . .	1.16	0.23	0.54	0.64	0.28
	1885 . .	0.92	0.21	0.54	0.59	0.25
— phosphatés . . .	1884 . .	1.16	0.23	0 55	0.72	0.28
	1885 . .	0.91	0.21	0.52	0.60	0.24
— potassiques . . .	1884 . .	1.15	0.22	0.57	0.69	0.28
	1885 . .	0.90	0.21	0.61	0.58	0.27
— calciques. . . .	1884 . .	1.16	0.23	0.55	0.68	0.29
	1885 . .	0.89	0.23	0.50	0.57	0.26
— magnésiens . . .	1884 . .	1.12	0.22	0.53	0.68	0.30
	1885 . .	0.86	0.20	0.51	0.59	0.25
Moyennes générales. .	1884 . .	1.16	0.23	0.56	0.69	0.29
	1885 . .	0.90	0.21	0.54	0.59	0.25

On voit qu'en général les sarments récoltés en 1884 sont plus riches en principes utiles que les sarments récoltés en 1885 ; la différence est surtout sensible pour l'azote et pour la chaux.

Pour avoir les poids d'éléments fertilisants enlevés au sol par les récoltes, il n'y a qu'à multiplier les nombres du tableau XVI respectivement par les poids des sarments secs de chaque rangée. On forme ainsi le tableau XVIII relatif à la récole de 1885 :

TABLEAU XVIII. — Récolte de 1885. — Poids d'éléments fertilisants enlevés au sol par la récolte.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	POIDS total des sarments à l'état sec.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	Moyenne des témoins . . .	1727	15,54	3,63	9,15	10,02	4,32
	I. — *Engrais azotés.*						
1	Nitrate de soude	2245	19,53	4,27	11,22	11,67	5,16
2	— d'ammoniaque . . .	1357	12,35	2,99	7,60	8,55	3,66
3	Chlorhydrate d'ammoniaque.	1883	15,82	3,95	9,41	10,54	4,71
4	Sulfate d'ammoniaque . . .	1435	13,49	3,01	7,46	8,04	3,44
5	Azotine	2237	18,34	5,15	11,86	13,20	5,82
6	Sang desséché	2133	19,20	4,48	11,09	12,16	5,23
7	Cuir torréfié	2339	23,62	4,68	12,40	13,57	5,85
8	Nitrate de potasse.	1259	10,58	2,52	8,18	7,55	3,27
9	Phosphate d'ammoniaque. .	1499	16,04	3,45	8,39	9,29	3,90
10	Guano	4044	40,84	9,71	23,05	25,07	9,71
	II. — *Engrais phosphatés.*						
1	Phosphate minéral.	3580	34,01	7,16	17,54	20,76	7,88
2	Cendre d'os	2400	20,88	5,28	12,24	15,60	6,00
3	Phosphate acide de chaux. .	3087	27,78	6,48	16,36	16,98	7,10
4	Superphosphate minéral. . .	2335	21,72	4,90	12,84	13,31	5,84
5	— d'os. . . .	2732	27,05	6,28	13,66	16,67	7,10
6	Phosphate précipité	4574	37,96	9,61	23,33	29,73	10,52
7	— d'ammoniaque . .	3169	27,57	6,65	17,43	18,38	7,92

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	POIDS total des sarments à l'état sec.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	III. — *Engrais potassiques.*						
1	Chlorure de potassium. . .	2880	20,75	5,24	13,22	14,59	5,70
2	Sulfate de potasse.	2319	21,10	4,41	14,84	12,75	6,49
3	Carbonate de potasse . . .	3059	26,92	6,73	18,66	17,13	8,57
4	Sulfure de potassium. . . .	1549	13,94	3,25	9,91	8,98	4,49
5	Sulfocarbonate de potasse. .	1508	13,87	3,32	8,60	8,44	3,92
	IV. — *Engrais calciques et magnésiens.*						
1	Carbonate de chaux	1669	14,52	3,67	8,68	10,01	4,17
2	Sulfate de chaux	2146	19,74	5,36	9,87	12,66	5,79
3	Chlorure de calcium. . . .	2368	20,84	5,21	12,55	12,31	6,39
4	Carbonate de magnésie. . .	3388	28,12	6,78	17,62	21,01	8,47
5	Sulfate de magnésie. . . .	2873	25,28	5,75	14,36	16,09	6,90

Si l'on rapproche ces nombres des poids de matières fertilisantes employées, on constate qu'une très faible proportion de celles-ci a été utilisée par la plante ; la plus grande partie est restée dans le sol loin des racines ou a disparu dans les eaux de pluie.

Le tableau précédent donne les poids absolus des éléments enlevés par la récolte ; pour déterminer l'influence des divers engrais sur leur absorption, il faut avoir leurs poids relatifs. C'est ce que donne le tableau XIX, où l'on a pris l'acide phosphorique comme terme de comparaison :

TABLEAU XIX. — Récolte de 1885. — Proportions d'éléments fertilisants enlevés au sol par la récolte.

NUMÉROS d'ordre.	NOM DE L'ENGRAIS.	ACIDE phosphorique.	AZOTE.	POTASSE	CHAUX.	MAGNÉSIE.
		p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
	Moyenne des témoins.	1	4.28	2.52	2.76	1.19
	I. — *Engrais azotés.*					
1	Nitrate de soude.	1	4.57	2.63	2.73	1.21
2	— d'ammoniaque.	1	4.13	2.54	2.86	1.22
3	Chlorhydrate d'ammoniaque . . .	1	4.01	2.38	2.67	1.19
4	Sulfate d'ammoniaque.	1	4.48	2.48	2.67	1.14
5	Azotine.	1	3.52	2.30	2.56	1.13
6	Sang desséché.	1	4.29	2.48	2.71	1.17
7	Cuir torréfié.	1	5.05	2.65	2.90	1.25
8	Nitrate de potasse	1	4.20	3.25	3.00	1.30
9	Phosphate d'ammoniaque.	1	4.65	2.43	2.69	1.13
10	Guano	1	4.22	2.38	2.58	1.00
	II. — *Engrais phosphatés.*					
1	Phosphate minéral	1	4.75	2.45	2.90	1.10
2	Cendre d'os.	1	3.95	2.32	2.95	1.14
3	Phosphate acide de chaux	1	4.29	2.52	2.62	1.10
4	Superphosphate minéral.	1	4.43	2.62	2.72	1.19
5	— d'os	1	4.32	2.18	2.65	1.13
6	Phosphate précipité.	1	3.95	2.43	3.09	1.09
7	— d'ammoniaque.	1	4.15	2.62	2.76	1.19
	III. — *Engrais potassiques.*					
1	Chlorure de potassium	1	3.96	2.52	2.78	1.09
2	Sulfate de potasse	1	4.78	3.37	2.89	1.47
3	Carbonate de potasse.	1	4.00	2.77	2.55	1.27
4	Sulfure de potassium.	1	4.29	3.05	2.76	1.38
5	Sulfocarbonate de potasse	1	4.18	2.59	2.54	1.18
	IV. — *Engrais calciques et magnésiens.*					
1	Carbonate de chaux.	1	3.96	2.37	2.73	1.14
2	Sulfate de chaux.	1	3.68	1.84	2.36	1.08
3	Chlorure de calcium	1	4.00	2.41	2.36	1.23
4	Carbonate de magnésie	1	4.15	2.60	3.10	1.25
5	Sulfate de magnésie.	1	4.40	2.50	2.80	1.20

Ces nombres diffèrent peu les uns des autres ; cependant si l'on compare les moyennes propres aux diverses catégories d'engrais, on voit apparaître quelques résultats intéressants. On a en effet :

TABLEAU XX. — Récolte de 1885. — Proportions moyennes d'éléments fertilisants enlevés au sol.

	ACIDE phosphorique.	AZOTE.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.
Témoins	1	4.28	2.52	2.76	1.19
Engrais azotés . . .	1	4.31	2.55	2.74	1.18
— phosphatés. .	1	4.26	2.41	2.70	1.14
— potassiques. .	1	3.64	2.86	2.70	1.26
— calciques . .	1	3.88	2.21	2.48	1.15
— magnésiens .	1	4.27	2.55	2.95	1.23
Moyenne générale . .	1	4.26	2.50	2.77	1.17

Les engrais azotés et phosphatés n'ont donc pas eu d'influence sensible sur l'absorption relative des éléments fertilisants.

Les engrais potassiques ont diminué la proportion d'azote assimilé et accru au contraire celle de la potasse et même celle de la magnésie ; la même influence s'est manifestée avec le nitrate de potasse (tab. XIX). La potasse facilite donc l'entraînement des matières minérales du sol dans les tissus de la plante. M. Audoynaud a déjà fait la même remarque pour un autre cépage[1].

Les engrais calciques ont favorisé l'absorption de l'acide phosphorique au détriment des autres principes.

Les engrais magnésiens ont agi comme la potasse, en accumulant dans les tissus une proportion plus considérable de potasse, de magnésie et même de chaux.

En résumé, la végétation de 100 pieds de *Cabernet,* dans le sol siliceux de Pierroton, a enlevé, en moyenne, par récolte :

1. *Annales agronomiques,* T. III, p. 52 ; 1877.

	EN 1884.	EN 1885.
	—	—
Acide phosphorique.	1gr,17	4gr,94
Azote	5 ,85	20 ,97
Potasse	2 ,72	12 ,34
Chaux	3 ,40	13 ,69
Magnésie.	1 ,41	5 ,80
Total.	14gr,55	57gr,74

Ces poids sont proportionnels à :

	EN 1884.	EN 1885.
	—	—
Acide phosphorique.	1.00	1.00
Azote	5.00	4.26
Potasse	2.33	2.50
Chaux.	2.90	2.77
Magnésie.	1.21	1.17

Ces nombres, sauf pour la chaux, se rapprochent assez de ceux qu'a trouvés M. Joulie en analysant les sarments et les feuilles de cépages français et de cépages américains provenant de diverses régions viticoles. Mais il résulte des analyses mêmes de M. Joulie que la composition des organes de la vigne varie avec l'âge de l'organe, avec le cépage, avec la nature du sol et avec le climat[1].

1. *Bulletin de la Société des agriculteurs de France,* T. XV, p. 254; 1883, et T. XVII, p. 641; 1885.

CONTRIBUTION

A LA

CHIMIE ET A LA PHYSIOLOGIE

DE LA BETTERAVE A SUCRE

Par A. PETERMANN

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'ÉTAT, A GEMBLOUX

Dès sa création, la station agronomique de Gembloux s'est occupée d'une manière toute spéciale de la betterave à sucre.

Différents mémoires [1] ont résumé les essais faits à cet égard.

Mais à côté de ces expériences d'un ordre plutôt agronomique, nous avons, depuis 1876, entrepris sur ce végétal, si intéressant sous plusieurs rapports, une étude à laquelle nous avons tâché de donner un caractère essentiellement scientifique.

Cette série d'expériences, exécutées en petit, seule méthode permettant de dominer toutes les conditions de l'expérimentation, devait approfondir et étendre les résultats acquis aux champs d'expériences et traiter des questions qui ne peuvent être résolues par des essais en grand avec toute la précision désirable.

Le développement qu'atteint la souche de la plante qui nous a occupé, rend impossible l'emploi de la méthode de culture en pots placés dans une serre, que nous suivons depuis seize ans pour nos études sur l'assimilabilité et la valeur relative des divers phosphates.

---

1. *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture*, 2e édit., p. 251 à 337. — *Bulletin de la Station agronomique*, nos 40 et 41. — *Annales de la Science agronomique*, 1884, T. I, et 1887, T. II.

Nous avons donc dû modifier le milieu et le mode de culture et nous avons eu recours à des cases de végétation d'une construction spéciale.

Les recherches dont nous allons rendre compte rapportent les faits observés du 3 mai 1876 au 25 octobre 1886.

Les phénomènes qui interviennent dans toutes les questions se rattachant à la nutrition des plantes sont si complexes, quelques-uns si délicats, que l'expérimentateur reconnaît le besoin de prolonger les essais pendant une longue période ; ce n'est qu'ainsi qu'il se soustrait au danger de conclusions erronées. Dès le commencement de cette étude, nous avons arrêté le plan pour onze années d'essais. Tous les assistants attachés pendant cette période à la station agronomique ont coopéré à ce travail. Ils ont tous droit à nos remerciements. Au nombre de ceux qui nous ont particulièrement secondé, nous citerons MM. Mercier, de Molinari et Warsage, et, pendant les dernières années, MM. Graftiau et de Marneffe.

Les points que nous avons voulu élucider par les recherches dont nous allons rendre compte sont les suivants :

1° La betterave dans ses relations avec les phénomènes météorologiques.

2° La betterave dans ses relations avec la restitution des éléments fertilisants qu'elle soustrait au sol nourricier.

3° L'influence d'un régime différent d'alimentation sur la composition immédiate et sur celle de la cendre de la betterave.

Afin d'assurer à notre travail la clarté désirable et d'éviter autant que possible des redites dont il est parfois difficile de se garder dans une recherche de longue haleine, nous le partagerons en cinq chapitres. Nous traiterons successivement :

Chapitre I: Cases de végétation, méthode d'expérimentation, plan de l'étude.

Chapitre II: Observations météorologiques, méthodes analytiques.

Chapitre III : Procès-verbal des onze années d'expérimentation.

Chapitre IV : Discussion des résultats obtenus.

Chapitre V: Conclusions.

CHAPITRE PREMIER

CASES DE VÉGÉTATION. — MÉTHODE D'EXPÉRIMENTATION. PLAN DE L'ÉTUDE.

Les cases de végétation, que nous avons établies au nombre de six, sont figurées ci-contre.

Reposant sur une solide fondation (*a, a*), elles s'élèvent jusqu'au niveau (*b*) du sol du jardin. La maçonnerie se termine par une bordure en pierre de taille (*c, c, c*) bien ajustée, la dépassant de 0^m,16. Chaque case a une surface de 1 mètre carré. Les bordures ont une légère pente vers l'extérieur, afin que l'eau de pluie qu'elles reçoivent ne s'écoule pas dans les cases. Les pierres (*d, d, d*) couvrant les murs de séparation, sont taillées en rigoles avec une légère pente vers le couloir (*e, e*). La pluie tombant sur les murs de séparation est ainsi conduite sur la bordure du côté du couloir. Les cases sont remplies jusqu'au niveau inférieur de la bordure en pierre de taille. Leur profondeur totale est de 1^m,20 ; déduction faite du fond, ayant 0^m,20 d'épaisseur, formé de gros cailloux siliceux, lavés à l'acide chlorhydrique d'abord, à l'eau de pluie et à l'eau distillée ensuite, il reste exactement un volume d'un mètre de terre. Le fond des cases, légèrement incliné vers le centre, présente une ouverture (*f*) dans laquelle est ajusté un tuyau de plomb recouvert d'un gros éclat de verre. Le tuyau draineur conduit les eaux dans un vase placé à l'extérieur de chaque case et abrité par une toiture en zinc (*h*), afin d'éviter que l'eau de pluie n'y pénètre. Toute la maçonnerie est revêtue d'une couche de ciment Portland de 0^m,01 d'épaisseur. L'escalier (*i*) conduit vers le couloir (*e*) pratiqué pour assurer la circulation facile de la personne chargée de la surveillance des expériences. La bordure (*c*) est garnie d'un treillage (*k*) en fil de fer galvanisé de 0^m,50 de hauteur, défendant les cases contre les attaques des animaux. Toute la batterie se trouve du reste au milieu du jardin d'expérimentation qui, de son côté, est clôturé par un treillage de 1^m,40 de hauteur. Telle est la construction de nos cases de

végétation, dont quatre ont été consacrées aux essais sur la betterave à sucre, les deux autres étant destinées à d'autres expériences.

On reconnaît que la disposition adoptée assure les avantages suivants :

1° Séparation complète du sol expérimenté du sol environnant, des éléments fertilisants de celui-ci et des eaux qui y circulent ;

2° Même exposition de toutes les cases à la pluie, à la chaleur et à la lumière ;

3° Les cases reçoivent exclusivement la quantité d'eau de pluie tombée sur la surface de 1 mètre carré et l'on écarte tout danger de perte d'eau ;

4° Drainage et réception des eaux qui proviennent de chaque case.

Il en résulte que toutes les cases de végétation se trouvent dans des conditions d'expérimentation tout à fait identiques.

Dans l'été de 1875, les cases furent remplies de terre sablo-argileuse de Gembloux, enlevée à un champ jusqu'alors sous le régime exclusif des engrais de ferme. La couche du sous-sol comporte une épaisseur de $0^m,70$, le sol de $0^m,30$. L'un et l'autre, séparément, ont été intimement mélangés et passés à la claie avant d'être mis en place, et cela dans la situation respective que ces couches occupaient dans le terrain d'origine.

Pendant l'été 1875, les cases sont restées sans végétation. On a bêché à plusieurs reprises la couche superficielle afin d'obtenir un tassement uniforme.

Les cases de végétation, remplies de terre jusqu'à la hauteur de la bordure, étaient ainsi prêtes à recevoir la première culture de betteraves à sucre. Elle commença en 1876, pour durer pendant onze ans.

Chaque année, chacune des cases recevait, plantés en poquets, neuf lots de graine de betterave de la variété « blanche de Silésie, reproduction Vilmorin », autant que possible de la même grosseur. La graine de même descendance a été renouvelée tous les deux ans.

Le jour de la plantation, les bouteilles furent placées pour recueillir l'eau de drainage. Cette eau fut mesurée chaque fois qu'il

était nécessaire, et on réservait une partie proportionnelle pour l'analyse, par exemple 2 litres sur 20 litres.

Des annotations soigneuses ont été prises sur le développement de la végétation ; on trouvera tous les détails à ce sujet au chapitre III.

La récolte faite, les collets et les feuilles furent enterrés à la bêche, les souches enlevées pour l'analyse.

Au printemps, un jour avant la plantation, et pour la première fois en 1877, on procéda à la restitution des principaux éléments fertilisants enlevés par la plante, en employant toujours le nitrate de soude, le chlorure de potassium et le superphosphate de chaux, à la dose de 1^{g},6 d'azote, 3^{g},9 de potasse et 0^{g},8 d'acide phosphorique pour 1000 grammes de racines enlevées par la récolte précédente. Les engrais furent enterrés à la profondeur de 0^{m},15.

Nous donnons le calcul complet de cette restitution pour l'année 1877 ; nous croyons inutile de reproduire les calculs pour les années suivantes. Mais tandis que pendant la première année d'expérimentation les quatre cases furent plantées de betteraves dans les mêmes conditions, c'est-à-dire sans apport aucun de matière fertilisante, à partir de 1877 commença une division sur laquelle nous attirons l'attention du lecteur, parce qu'elle constitue la base de notre étude.

Voici, en effet, le régime différent auquel les cases furent soumises pendant dix ans :

Case I. — Betteraves sans restitution aucune.

Case II. — Betteraves avec restitution de la matière minérale.

Case III. — Betteraves avec restitution de l'azote.

Case IV. — Betteraves avec restitution de l'azote et de la matière minérale.

A partir de 1880, une nouvelle case a été comprise dans l'expérience. Désirant compléter les essais en cours par des recherches sur l'évaporation de l'eau du sol nu comparé au sol couvert de betteraves, nous avons rempli une cinquième case de la même terre et dans les mêmes conditions que les voisines.

Connaissant, d'une part, la quantité d'eau tombée sur chaque case de végétation, de l'autre, celle livrée par le drainage du sol nu et du sol couvert et exécutant des dosages d'humidité de la terre avant et

après chaque culture, nous aurions possédé des données intéressantes sur la question de l'évaporation.

Un accident survenu dans le drainage de la 5[e] case, sol nu, formation d'une fissure dans la maçonnerie de support, accident que nous ne pouvions constater qu'à la fin de l'expérience (1886), nous a malheureusement fait perdre le fruit de cette partie de nos recherches.

Le drainage des cases I à IV s'est opéré très régulièrement pendant toute la durée de la recherche.

A partir de la huitième année, lorsque nous pouvions admettre que le régime différent auquel le sol des quatre cases a été soumis pendant une longue période devait déjà exercer toute son influence sur la plante cultivée, nous avons exécuté non seulement le dosage du sucre de la souche, mais l'analyse complète de celle-ci, en établissant la composition organique immédiate et celle de la matière minérale assimilée.

CHAPITRE II

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MÉTHODES D'ANALYSES.

Déjà avant l'établissement, à l'Institut agricole de l'État, du poste météorologique qu'y a installé l'Observatoire royal, la station agronomique avait organisé les observations nécessaires à ses recherches. Mais l'établissement d'un observatoire spécial à proximité immédiate de notre jardin d'expérimentation nous a permis de cesser nos observations et de nous servir de celles[1] faites par MM. Motteu et Marcas, sous la direction de M. le professeur Chevron. Quelques lacunes existant dans nos observations ont été comblées par les chiffres de la station météorologique de Namur[2].

---

1. Depuis 1889, la Station agronomique de Gembloux fait le service météorologique.

2. Nous saisissons cette occasion pour remercier M. Folie, directeur de l'Observatoire royal, et M. Lancaster, chef du service météorologique, de l'obligeance qu'ils ont eue de faire faire, sur notre demande, des extraits des registres de l'Observatoire.

Nous croyons superflu de reproduire ici les longs tableaux comprenant toutes les constatations embrassant, pour chacune des dix années d'expérimentation, une période de près de sept mois : ces chiffres à eux seuls formeraient toute une brochure.

Voici comment ont été utilisées les observations météorologiques :

La somme des hauteurs de pluie constatées à partir du jour de la plantation des graines jusqu'à la veille de l'arrachage, nous a permis de dresser une première courbe : celle de l'*eau tombée*.

En divisant la somme des températures moyennes de chaque jour par le nombre de jours, nous avons obtenu la température moyenne de chaque expérience annuelle ; la somme des températures constatées entre la plantation et la récolte nous a fourni les éléments de la courbe : *degrés de chaleur*.

N'ayant pas eu, au début de notre étude, l'idée de mesurer directement l'intensité de la lumière par des observations actinométriques, nous avons dû nous borner à dresser la courbe *lumière* en nous basant sur les observations de la nébulosité. La moyenne des deux observations journalières a permis d'établir la moyenne générale pour la période comprise entre la levée de la betterave et la veille de la récolte. Le ciel entièrement couvert étant représenté par 10, la différence entre 10 et les moyennes de la nébulosité constatée nous a fourni un chiffre pour exprimer l'intensité de l'éclairage.

Méthodes d'analyses. — L'analyse du sol sur lequel on a expérimenté a été opérée d'après la méthode habituellement suivie à la station agronomique [1]. Concernant le dosage des éléments fertilisants non dissous par l'acide chlorhydrique, nous ferons observer que la partie insoluble a été complètement épuisée par l'eau distillée, ensuite desséchée, calcinée, porphyrisée et enfin attaquée par l'acide fluorhydrique. A cette fin, la prise d'essai a été évaporée à siccité au bain-marie, avec une dissolution concentrée de fluorure d'ammonium. Le mélange intime ainsi obtenu de la matière silicatée avec le fluorure d'ammonium est ensuite décomposé dans une boîte en plomb par l'acide sulfurique que l'on ajoute par petites portions.

1. *Recherches, etc.*, 2[e] édit., p. 558.

La suite de l'opération est la méthode ordinaire du dosage de la potasse, de la chaux, de la magnésie, etc.

Analyse du sol.

	SOL.	SOUS-SOL.
Résidu sur le tamis de 5 millim.	4.79	0.05
Terre fine	95.21	99.95
	100.00	100.00

La terre fine renferme :

Sable	85.36	80.3
Argile	14.64	11.8

Mille parties de terre fine renferment :

Eau	20.22	54.07
Matières organiques	26.12	28.02
Oxyde de fer et alumine	17.74	39.73
Chaux	2.37	4.17
Magnésie	1.69	3.11
Soude	0.23	0.19
Potasse	0.76	1.23
Acide phosphorique	0.65	0.91
Acide sulfurique	0.26	0.01
Acide carbonique	0.56	traces
Acide silicique	0.30	0.06
Chlore	traces	traces
Insoluble dans l'acide chlorhydrique [1]	929.10	868.50
	1000.00	1000.00

Azote organique	0.20	0.20
Azote ammoniacal	0.07	0.02
Azote nitrique	0.03	0.01
	0.30	0.23

1. Renfermant potasse . . . . . 29.90 — 29.09

Le dosage de l'azote des eaux de drainage a été opéré par la méthode Schlœsing en mesurant le bioxyde d'azote dégagé. A cette fin, une prise d'essai de 2 à 4 litres a été concentrée en présence

d'une goutte de lessive de potasse exempte d'acide nitrique d'après la réaction à la brucine. L'essai qualitatif a toujours montré l'absence d'ammoniaque, même à l'aide du réactif si sensible de M. Nessler. Cela s'explique aisément par le pouvoir absorbant très énergique que possèdent les particules terreuses pour l'ammoniaque et par la facilité avec laquelle celle-ci se nitrifie. Par contre, nous avons souvent constaté la présence de nitrites dus à la réduction de nitrates par des matières organiques. L'analyse des eaux de drainage comprend toujours la somme de l'azote sous forme de nitrates et de nitrites.

Pour l'analyse de la betterave, on a partagé chacune des souches des neuf plantes produites par case, en deux parties égales, par une section faite suivant l'axe. Une moitié a servi au dosage du sucre, sur l'autre moitié on a prélevé un segment proportionnel au volume de chaque racine. Ce segment a été découpé rapidement en fines lamelles, sur lesquelles on a opéré le dosage de l'eau.

Le reste des betteraves a été découpé en tranches qui ont été séchées; une partie de ces tranches a été réduite en poudre fine pour servir à l'analyse immédiate ; l'autre partie a été incinérée très lentement et à une température modérée pour obtenir la cendre brute destinée à l'analyse.

Analyse immédiate de la betterave.

Eau. — On a desséché à l'étuve de Gay-Lussac jusqu'à poids constant.

Sucre. — La richesse saccharine du jus a été constatée au moyen du polarimètre et ramenée au poids de la betterave à l'aide du coefficient exprimant la quantité de jus déterminée dans chacun des cas.

En 1885 et 1886, on a employé la méthode dite alcoolique, dont nous avons donné la description en 1887[1].

---

1. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique,* 3e série, T. XIII, n° 6, 1887. — *Guide pratique pour l'analyse de la betterave à sucre,* par J. Graftiau. Bruxelles, 1887. — *Annales de la Science agronomique,* T. I, 1887.

Matières grasses. — Une prise d'essai de 5 grammes a été épuisée par l'éther dans un extracteur Petermann-Simon.

L'*azote total* a été obtenu par la méthode de Ruffle ; il a servi au calcul de la matière albuminoïde brute.

La *matière albuminoïde pure* a été dosée par le procédé de M. Stutzer en la séparant des autres composés par l'hydrate cuivrique. Le précipité, calciné d'après Will et Varentrapp, a fourni l'azote dont on a déduit, à l'aide du coefficient 6.25, la matière albuminoïde pure.

Cellulose. — Le dosage de la cellulose a été opéré d'après le procédé de convention des stations agronomiques en épuisant la matière à l'ébullition successivement par l'acide sulfurique à 1.25 p. 100, par une lessive de soude à 1.25 p. 100, par l'eau distillée, par l'alcool et enfin par l'éther. Le résidu séché est pesé, calciné, le poids des cendres retranché du poids de la cellulose brute.

Analyse des cendres.

On a dissous dans l'eau et l'acide chlorhydrique 2 grammes de cendres brutes, évaporé à siccité au bain-marie, chauffé à l'étuve à 105°, repris par l'eau et l'acide chlorhydrique et filtré sur un filtre taré. Le filtre desséché à nouveau donne : charbon + sable + acide silicique. Le charbon est dosé par calcination. L'acide silicique est séparé du sable en chauffant le mélange à l'ébullition avec une solution concentrée de carbonate de sodium. Le filtrat de l'insoluble a été oxydé en le chauffant avec quelques gouttes d'acide azotique et après refroidissement a été porté au volume de 250 cent. cubes. — 100 cent. cubes ont servi au dosage de l'oxyde de fer, de la chaux, de la magnésie et de l'acide phosphorique par les méthodes ordinaires ; 100 cent. cubes ont servi au dosage de l'acide sulfurique, de la potasse et de la soude ; les chlorures alcalins ont été séparés par le chlorure de platine. 2 grammes de cendres brutes ont servi au dosage de l'acide carbonique qui a été recueilli dans un tube à boule de Liebig. La solution nitrique provenant de cette opération a servi au dosage du chlore, par le nitrate d'argent.

La composition de la cendre brute obtenue par la marche analy-

tique précédente a été ramenée à celle de la cendre pure, exempte de carbone et de sable.

CHAPITRE III

PROCÈS-VERBAL DES ONZE ANNÉES D'EXPÉRIMENTATION.

§ 1er. — Restitution. — Observations sur le développement des plantes d'essai. — Récolte. — Richesse saccharine.

Année 1876.

3 mai : plantation. — 11 mai : Commencement de la levée. — 15 mai : levée complète. — 22 mai : premier binage. — 29 mai : second binage et isolement des plantes. — 19 octobre : récolte.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1:		Grammes.
Case I . . .	2,056	0,975	0,474	11.8	243
Case II. . .	2,101	0,901	0,429	11.8	248
Case III. . .	2,122	1,020	0,481	11.6	246
Case IV. . .	1,995	0,933	0,468	12.0	239

Comme nous l'avons dit, l'année 1876 constituait l'essai préliminaire ; les quatre cases furent soumises absolument au même régime. Ceci devait nous renseigner sur l'homogénéité du sol et nous permettre d'établir l'erreur d'expérimentation à laquelle nous sommes exposé en comparant plus tard les résultats obtenus sur des cases différemment traitées. Cette erreur est, comme on le voit, d'environ 3 p. 100.

Année 1877.

Le régime de la restitution commence :

a) **Principes fertilisants en grammes enlevés au sol par les souches des betteraves produites en 1876.**

	DANS 1000 grammes.	DANS LA RÉCOLTE DES CASES.			
		I.	II.	III.	IV.
Azote	1.6	3.29	3.36	3.40	3.19
Potasse	3.9	8.02	8.19	8.28	7.78
Acide phosphorique	0.8	1.64	1.68	1.70	1.60

b) **Principes fertilisants restitués en grammes.**

I. — Sans fumure.

II. — 16.36 de chlorure de potassium (50.05 p. 100) = 8.19 de potasse.

10.96 de superphosphate (15.33 p. 100) = 1.68 d'acide phosphorique.

III. — 21.36 de nitrate de soude (15.90 p. 100) = 3. 40. d'azote.

IV. — 20.06 de nitrate de soude (15.90 p. 100) = 3.19 d'azote.

15.54 de chlorure de potassium (50.05 p. 100) = 7.78 de potasse.

10.44 de superphosphate (15.33) p. 100) = 1.60 d'acide phosphorique.

25 avril : plantation. — 6 mai : commencement de la levée. — 10 mai : levée complète. — 18 mai : premier binage. — 25 mai : second binage et isolement des plantes. — Commencement de juillet : très belle végétation d'un beau vert saturé, surtout pour III et IV ayant reçu de l'azote. Supériorité de II sur I, III sur II et IV sur III. — 9 octobre : récolte. — Jours de végétation : 167. — Température moyenne : 15°,53 C. — Somme de chaleur : 2 594°. — Hauteur de pluie : 416 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.7.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	1,698	0,970	0,571	13.26	225
Case II. . .	2,020	0,975	0,483	11.88	240
Case III. . .	3,240	1,852	0,572	14.02	454
Case IV. . .	3,680	1,320	0,359	13.91	512

Année 1878.

La restitution a été opérée le 19 avril.

20 avril : plantation. — 29 avril : commencement de la levée dans I. — 2 mai : commencement de la levée dans II, III et IV. — 6 mai : levée complète. — 18 mai : premier binage. — 6 juin : second binage et isolement des plantes. — 6 juillet : un dernier binage. — II et I restent pendant un mois et demi en retard sur les autres, mais regagnent peu à peu le temps perdu tout en restant plus faibles que III et IV. — Les feuilles de la périphérie commencent à jaunir à partir du mois de septembre dans I et II ; quelques jours plus tard celles de III et IV. La chlorophylle des feuilles du cœur ne change pas encore ; celles-ci ne jaunissent qu'à partir du 18 septembre. — 24 septembre : récolte. — Jours de végétation : 159. — Température moyenne : 15°,91 C. — Somme de chaleur : 2 514°. — Hauteur de pluie : 515 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.6.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	3,692	1,182	0,320	13.00	480
Case II. . .	4,441	1,277	0,288	10.31	458
Case III. . .	4,837	1,878	0,388	10.80	522
Case IV. . .	5,167	1,800	0,348	13.97	722

Année 1879.

20 mai : restitution des principes fertilisants. — 21 mai : plantation. — 28 mai : commencement de la levée dans I. — 30 mai : on aperçoit les cotylédons dans II, le 2 juin seulement dans III et IV. — 5 juin : levée générale. — 16 juin : premier binage. — 30 juin : dernier binage et isolement des plantes. — 22 juillet : belle végétation, beau vert, supériorité nette de IV, III sur II, peu de différence entre I et II. — Fin octobre : la maturation avance à grands pas, les feuilles axiles de IV et III encore plus vertes que celles de II et I. — 25 octobre : récolte. Les souches de I et II sont plus allongées en moyenne d'une quinzaine de centimètres que celles de III et IV. — Jours de végétation : 157. — Température moyenne : 14°,78 C. — Somme de chaleur : 2 331°. — Hauteur de pluie : 383 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.2.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	0,968	0,305	0,315	10.20	99
Case II. . .	1,085	0,310	0,286	9.50	103
Case III. . .	1,888	0,478	0,253	10.70	202
Case IV. . .	2,470	0,665	0,270	10.10	249

Année 1880.

21 avril : restitution. — 22 avril : plantation. — 5 mai : commencement de la levée dans I. — 7 mai : levée dans les autres cases. — 15 mai : levée générale. — 31 mai : premier binage. — 5 juin : isolement. — 20 juin : dernier binage. — 25 octobre : récolte. — Jours de végétation : 187. — Température moyenne : 15°,37 C. — Somme de chaleur : 2 874°. — Hauteur de pluie : 463 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.6.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	1,330	0,750	0,564	13.00	173
Case II. . .	1,910	1,020	0,534	12.60	241
Case III. . .	1,990	0,870	0,437	11.30	225
Case IV. . .	3,770	1,060	0,281	12.10	456

Année 1881.

11 avril : restitution. — 12 avril : plantation. — 27 avril : levée dans I. — 29 avril : levée dans IV, III et II. — 2 mai : levée générale assez irrégulière ; on remplace quelques plants manqués. — 12 mai : premier binage. — 13 juin : second binage et isolement des plantes. — En août, I est toujours faible relativement aux autres cases, IV et III supérieures à II. — 25 octobre : récolte. — Jours de végétation : 197. — Température moyenne : 13°,7 C. — Somme de chaleur : 2699°. — Hauteur de pluie : 483 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.8.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	1,750	0,850	0,486	13.40	235
Case II. . .	2,200	1,060	0,482	12.80	282
Case III. . .	2,590	1,625	0,628	12.60	326
Case IV. . .	3,790	1,390	0,367	12.94	490

Année 1882.

14 avril : restitution. — 15 avril : plantation. — Quelques fortes pluies. — 28 avril : on aperçoit des cotylédons dans toutes les cases. — 5 mai : levée complète. — 28 mai : premier binage. — 10 juin :

isolement des plantes. — 4 juillet : dernier binage. — La maturation avance à partir du 15 septembre plus rapidement dans I et II que dans III et IV. — 25 octobre : récolte. — On examine avec grand soin, à la loupe, les radicelles de la souche et la terre adhérente ; absence complète de nématodes, même dans la case I qui, cependant, a déjà porté depuis sept ans des betteraves, sans restitution aucune de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse. — Les betteraves I et II sont plus pivotantes que celles de III et IV. — Jours de végétation : 194. — Température moyenne : 14°,58 C. — Somme de chaleur : 2 829°. — Hauteur de pluie : 547 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 2.7.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	2,830	1,020	0,360	9.80	277
Case II. . .	3,250	1,325	0,408	10.00	325
Case III. . .	3,740	1,800	0,481	11.00	411
Case IV. . .	5,110	2,070	0,405	11.37	581

Année 1883.

15 avril : restitution. — 16 avril : plantation. — 4 mai : on voit les cotylédons dans I. — 7 mai : également dans les autres cases. — 10 mai : levée générale. — 19 mai : premier binage. — 29 mai : isolement et dernier binage. — A partir du mois de juillet, les plantes d'essai sont très belles, vigoureuses et régulières. — Au commencement de septembre, la chlorophylle dans les limbes des feuilles extérieures disparaît, le bouquet formé par les feuilles axiles est encore vert. Les cases II et I mûrissent plus vite, avec une avance de trois à quatre jours sur III et IV. — 27 septembre : récolte. — Point de nématodes. — Jours de végétation : 165. — Température moyenne : 15°,10 C. — Somme de chaleur : 2 492°. — Hauteur de pluie : 382 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.2.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	2,370	0,835	0,352	11.01	261
Case II. . .	3,160	1,400	0,443	11.05	349
Case III. . .	3,140	2,400	0,761	11.40	358
Case IV. . .	4,350	2,058	0,473	12.89	561

Année 1884.

28 avril : restitution. — 29 avril : plantation. — 12 mai : commencement de la levée dans toutes les cases. — 17 mai : levée complète dans I. — 21 mai : levée complète dans les cases ayant reçu des engrais. — 3 juin : premier binage. — 16 juin : isolement et dernier binage. — Juillet et août : très belle végétation, surtout dans III et IV. — A partir du 15 septembre, les feuilles formant les verticilles extérieurs commencent à jaunir. — 20 septembre : les feuilles du cœur suivent dans I. — 23 septembre : dans II. — 28 septembre : dans III et IV. — 25 octobre : récolte. — Jours de végétation : 181. — Température moyenne : 14°,95 C. — Somme de chaleur : 2 706°. — Hauteur de pluie : 384 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.8.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	1,650	0,810	0,491	12.98	214
Case II. . .	2,500	1,380	0,552	13.00	325
Case III. . .	3,020	2,100	0,695	12.70	384
Case IV. . .	3,950	1,930	0,489	12.80	506

Année 1885.

11 mai : restitution. — 12 mai : plantation. — 21 mai : levée mauvaise ; on replante quelques paquets. — 18 juin : premier bi-

nage. — 11 juillet : second binage et isolement. — 12 août : belle végétation ; point de différence appréciable entre I et II ; supériorité de III et IV sur les autres cases. — 10 septembre : la maturation commence à se manifester ; fin septembre, I et II sont plus avancées que III et IV. — 21 octobre : récolte. — Absence de nématodes. — Jours de végétation : 163. — Température moyenne : 14°06 C. Somme de chaleur : 2 262°. — Hauteur de pluie : 283 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.2

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	1,490	0,700	0,470	12.73	190
Case II. . .	1,905	1,300	0,682	12.79	244
Case III. . .	2,220	1,300	0,586	10.91	242
Case IV. . .	2,870	1,740	0,606	10.75	309

Année 1886.

8 mai : restitution. — 9 mai : plantation. — 16 mai : on aperçoit les cotylédons dans I. — 18 mai : les cases II, III et IV suivent. — 19 mai : levée complète. — 22 : premier binage. — 25 mai : une averse ayant fortement tassé le sol, on renouvelle le binage. — 8 juin : isolement et dernier binage. — 24 juillet : belle végétation ; peu de différence entre I et II et entre III et IV, ces deux cases plus avancées et plus vertes que les premières. — Vers le milieu de septembre, la chlorophylle commence à disparaître dans les feuilles extérieures, les feuilles axiles sont encore en pleine végétation. Légère avance de maturité de I et II sur III et IV. — 25 octobre : récolte. — Lors de l'arrachage, on remarque que les pivots des betteraves des cases sans azote sont plus allongés que ceux des betteraves des cases à azote. Les premiers mesurent de $0^m,45$ à $0^m,65$; une souche a même une longueur de $0^m,85$; les derniers seulement $0^m,30$ à $0^m,50$, tout en étant abondamment garnis de radicelles. Absence de nématodes. — Jours de végétation : 170. — Tem-

pérature moyenne : 15° 24 C. — Somme de chaleur : 2746°. — Hauteur de pluie : 404 millimètres. — Intensité de l'éclairage : 3.9.

	POIDS TOTAL des souches.	POIDS TOTAL des feuilles avec collets.	RAPPORT de la souche aux feuilles.	SUCRE P. 100 de la betterave.	SUCRE produit par case.
	Kilogr.	Kilogr.	1 :		Grammes.
Case I . . .	2,400	0,800	0,333	14.88	357
Case II. . .	3,075	1,365	0,444	15.07	463
Case III. . .	3,500	1,900	0,543	14.71	515
Case IV. . .	3,803	2,137	0,562	14.51	552

§ 2. — Quantité et richesse en azote des eaux de drainage.

Année 1881.

Les cases commencent à couler le 13 août.

	CASE I.	CASE II.	CASE III.	CASE IV.
Quantité recueillie en litres	110.92	80.23	65.00	49.80
Azote nitrique par litre en grammes . .	0.0078	0.0073	0.0092	0.0098
Perte totale d'azote en grammes. . . .	0.87	0.59	0.60	0.49

Année 1882.

Les cases commencent à couler : I le 10 mai ; II et III le 15 mai ; IV le 17 mai.

	CASE I.	CASE II.	CASE III.	CASE IV.
Quantité recueillie en litres	156.47	116.42	107.94	80.42
Azote nitrique par litre en grammes .	0.0050	0.0060	0.0064	0.0062
Perte totale d'azote en grammes. . .	0.78	0.70	0.69	0.50

Année 1883.

Les cases de végétation n'ont pas fourni d'eau de drainage.

Année 1884.

Les premières gouttes d'eau de drainage apparaissent le 4 mai.

	CASE I.	CASE II.	CASE III.	CASE IV.
Quantité recueillie en litres.	39.50	20.70	19.50	12.00
Azote nitrique par litre en grammes. . .	0.0048	0.0052	0.0061	0.0072
Perte totale d'azote en grammes. . . .	0.19	0.11	0.12	0.09

Année 1885.

Les cases n'ont pas coulé.

Année 1886.

On recueille les premières eaux le 10 juin.

	CASE I.	CASE II.	CASE III.	CASE IV.
Quantité recueillie en litres.	53.70	46.50	36.30	24.90
Azote nitrique par litre en grammes. . .	0.0063	0.0068	0.0071	0.0073
Perte totale d'azote en grammes. . . .	0.34	0.32	0.26	0.18

§ 3. — Composition des betteraves récoltées.

Année 1885.

Analyse immédiate des souches.

	I.		II.		III.		IV.	
	Matière sèche.	Matière fraiche.	Matière sèche.	Matière fraiche.	Matière sèche.	Matière fraiche.	Matière sèche.	Matière fraiche.
Eau.	»	81.72	»	83.03	»	81.04	»	84.56
Matières albuminoïdes brutes.	5.13	0.94	5.53	0.94	8.01	1.28	7.61	1.18
Matières grasses.	0.51	0.09	0.59	0.10	0.56	0.09	0.52	0.08
Saccharose.	69.64	12.73	75.37	12.79	68.19	10.91	69.66	10.75
Matières extractives [1]	13.66	2.50	7.67	1.30	10.24	1.64	10.41	1.61
Cellulose pure.	6.31	1.15	6.01	1.02	6.81	1.09	5.77	0.89
Matières minérales.	4.75	0.87	4.83	0.82	6.19	0.99	6.03	0.93
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1. Comprenant tous les hydrates de carbone qui ne sont ni saccharose, ni cellulose, ni graisse, par conséquent gomme, dextrine, pectine et ses dérivés, etc. Nos betteraves étaient exemptes de glucose et d'amidon.

Analyse des cendres.

	I.		II.		III.		IV.	
	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.
Chaux	7.30	8.06	6.00	6.43	5.25	5.64	3.88	4.04
Magnésie	4.53	5.00	4.48	4.80	5.06	5.44	3.73	3.88
Potasse	35.00	38.66	41.12	44.08	32.94	35.41	39.71	41.32
Soude	6.08	6.72	5.88	6.30	13.23	14.22	10.25	10.66
Oxyde de fer et alumine	0.88	0.97	0.92	0.98	1.07	1.15	0.93	0.97
Acide silicique	1.18	1.30	1.26	1.35	2.08	2.23	2.40	2.49
— phosphorique	12.58	13.89	13.74	14.72	11.35	12.20	8.88	9.24
— sulfurique	10.07	11.12	9.73	10.43	9.50	10.21	10.06	10.47
— carbonique	10.98	12.13	6.74	7.22	11.60	12.47	10.64	11.07
Chlore	1.38	1.52	4.87	5.22	1.41	1.51	7.16	7.45
Carbone	1.44	»	0.82	»	0.55	»	0.14	»
Sable	7.96	»	6.00	»	6.46	»	3.82	»
	99.38	99.37	101.56	101.53	100.50	100.48	101.60	101.59
Oxygène correspondant au chlore	0.31	0.31	1.10	1.18	0.32	0.34	1.61	1.68
	99.07	99.06	100.46	100.35	100.18	100.14	99.99	99.91

Année 1886.

Analyse immédiate des souches.

	I.		II.		III.		IV.	
	Matière sèche.	Matière fraîche.	Matière sèche.	Matière fraîche.	Matière sèche.	Matière fraîche.	Matière sèche.	Matière fraîche.
Eau	»	79.35	»	78.74	»	78.54	»	78.39
Matières albuminoïdes brutes	4.58	0.94	4.79	1.02	4.06	0.87	4.74	1.03
Matières grasses	0.32	0.07	0.29	0.06	0.32	0.07	0.31	0.07
Saccharose	68.67	14.18	70.88	15.07	68.55	14.71	67.14	14.51
Matières extractives	17.55	3.63	15.85	3.36	19.18	4.12	19.60	4.23
Cellulose pure	5.71	1.18	5.06	1.08	5.32	1.14	5.11	1.10
Matières minérales	3.17	0.65	3.13	0.67	2.57	0.55	3.10	0.67
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Analyse des cendres.

	I.		II.		III.		IV.	
	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.	Cendre brute.	Cendre pure.
Chaux.	13.09	14.07	12.31	13.08	11.54	12.66	10.70	11.25
Magnésie	7.40	7.95	7.47	7.94	9.38	10.29	8.03	8.44
Potasse	33.78	36.30	34.26	36.39	30.30	33.24	37.51	39.45
Soude.	3.68	3.96	4.08	4.33	6.21	6.81	4.08	4.29
Oxyde de fer et alumine . . .	0.94	1.01	0.73	0.78	0.78	0.86	0.50	0.53
Acide silicique.	1.02	1.10	0.94	1.00	0.67	0.73	0.32	0.34
— phosphorique	12.95	13.92	12.75	13.51	12.03	13.20	13.08	13.76
— sulfurique.	3.66	3.93	4.03	4.28	3.46	3.80	4.35	4.57
— carbonique	15.99	17.19	15.67	16.65	16.42	18.01	15.60	16.41
Chlore.	0.51	0.55	1.36	1.44	0.33	0.36	1.01	1.06
Carbone.	1.18	»	1.75	»	4.45	»	2.92	»
Sable	5.78	»	4.08	»	4.38	»	2.00	»
	99.98	99.98	99.43	99.43	99.95	99.96	100.10	100.10
Oxygène correspondant au chlore.	0.11	0.12	0.31	0.33	0.07	0.08	0.23	0.24
	99.87	99.86	99.12	99.10	99.88	99.88	99.87	99.86

Composition des souches de betteraves de l'année 1885.

	I.	II.	III.	IV.
Eau.	818.57	831.18	841.58	846.70
Matières albuminoïdes brutes.	9.38	9.42	12.83	11.84
— grasses.	0.93	0.97	0.92	0.83
Saccharose	127.51	128.04	109.30	107.66
Matières extractives	25.02	13.05	16.35	16.04
Cellulose pure.	11.55	10.23	10.93	8.92
Chaux.	0.65	0.48	0.52	0.36
Magnésie	0.40	0.36	0.50	0.34
Potasse	3.12	3.33	3.25	3.65
Soude.	0.54	0.48	1.30	0.94
Oxyde de fer et alumine	0.08	0.07	0.11	0.09
Acide silicique.	0.11	0.10	0.21	0.22
— phosphorique	1.12	1.11	1.12	0.82
— sulfurique.	0.90	0.79	0.94	0.93
Chlore.	0.12	0.39	0.14	0.66
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

Composition des souches de betteraves de l'année 1886.

	I.	II.	III.	IV.
Eau	794.26	788.66	786.47	784.96
Matières albuminoïdes brutes [1]	9.47	9.84	8.71	10.25
— grasses	0.66	0.62	0.68	0.67
Saccharose	141.94	150.93	147.31	145.30
Matières extractives	36.83	33.84	41.25	42.45
Cellulose pure	11.79	10.78	11.45	11.06
Chaux	0.86	0.84	0.64	0.71
Magnésie	0.49	0.51	0.52	0.54
Potasse	2.21	2.35	1.67	2.51
Soude	0.24	0.28	0.34	0.27
Oxyde de fer et alumine	0.06	0.05	0.04	0.03
Acide silicique	0.07	0.06	0.04	0.02
— phosphorique	0.85	0.87	0.67	0.87
— sulfurique	0.24	0.28	0.19	0.29
Chlore	0.03	0.09	0.02	0.07
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Matière albuminoïde pure, d'après le procédé de Stutzer	5.06	6.31	4.81	6.00

1. = Azote total × 6,25.

Composition moyenne des souches de la betterave à sucre « Variété silésienne » déduite de l'analyse complète de huit lots.

Eau		811.55
Matières azotées	Albumine, caséine	5.55
	Corps amidés, etc. [1]	4.67
Hydrates de carbone	Matières grasses	0.78
	Saccharose	132.25
	Cellulose	10.84
	Gomme, dextrine, pectine, etc.	28.10
Chaux		0.63
Magnésie		0.46
Potasse		2.76
Soude		0.55
Oxyde de fer et alumine		0.07
Acide silicique		0.10
— phosphorique		0.93
— sulfurique		0.57
Chlore		0.19
		1000.00

1. Différence entre les matières albuminoïdes brutes et les matières albuminoïdes pures (voir méthodes analytiques).

CHAPITRE IV

DISCUSSION DES RÉSULTATS.

Avant de passer aux questions qui nous intéressent tout particulièrement, savoir : la betterave dans ses relations avec les phénomènes météorologiques, la betterave et sa composition sous un régime différent de nutrition, nous nous arrêterons à plusieurs faits qui résultent accessoirement de nos expériences, mais qui ne manquent pas d'intérêt.

Déjà en 1884, à l'occasion des recherches exécutées au champ d'expériences, nous avons signalé[1] que l'application des engrais chimiques retarde de quelques jours la levée des graines de betteraves.

Nos dix années d'essais en cases, où toutes les phases de la vie végétale pouvaient être suivies avec facilité et être surveillées pour ainsi dire d'heure en heure, confirment cette observation d'une manière absolument certaine. Nous ajoutons que nous entendons par commencement de la levée le moment où l'on aperçoit les premiers cotylédons qui percent le sol, et par levée complète l'apparition des cotylédons dans chaque poquet.

Voici le relevé de nos annotations faites concernant la germination :

1877. Point de différence entre les diverses cases.

1878. Les cotylédons apparaissent dans I trois jours plus tôt que dans II, III et IV.

1879. Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1880. Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1881. Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1882. Point de différence ; fortes pluies pendant les jours qui suivent la plantation.

1883. Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

1. *Recherches*, etc. 2e édition, pp. 315 et 316.

1884. Pas de différence pour le commencement de la levée, mais la levée complète se constate dans la case I quatre jours avant celle des autres cases.

1885. La levée étant mauvaise, on a dû replanter; par conséquent les observations sur la levée n'ont point de valeur.

1886. Les cotylédons apparaissent dans I deux jours plus tôt que dans II, III et IV.

Il est donc définitivement acquis que l'application du nitrate de soude, du chlorure de potassium et du superphosphate de chaux retarde la levée, au moins dans un sol d'une certaine ténacité.

Trois causes peuvent produire cette influence fâcheuse :

1° Retard dans la germination produit par l'engrais chimique qui agirait comme antiseptique, l'acte de germination étant dû à des ferments[1].

2° Action corrosive exercée par les engrais sur l'embryon perçant l'enveloppe protectrice de la première graine germée. L'engrais se diluant peu à peu n'agirait plus sur les graines germant après; la semence de la betterave forme, comme on sait, une agglomération de plusieurs graines.

3° Soustraction d'une partie de l'eau du sol (dont la graine a besoin pour ramollir son péricarpe et liquéfier son endosperme) par l'engrais chimique très hydroscopique lequel s'en empare avec avidité pour se dissoudre.

C'est cette dernière explication que nous avons déjà donnée en 1884, que nous considérons comme vraie, car pas plus dans les cases que dans les champs d'expériences, nous n'avons jamais pu, dans de fréquentes recherches, retrouver d'embryon détruit, desséché ou seulement lésé par son contact avec les produits chimiques. Nous admettons cependant que la première cause peut également agir. Le fait qu'en 1882, où de fortes pluies ont suivi immédiatement

---

1. GORUP-BESANEZ et WILD, *Bericht der deutsch. ch. Gesellschaft,* 1874. — MORREN, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique,* 1876. — JORISSEN, *ibid.,* 1883 et suivants.

L'acide phosphorique libre du superphosphate et les sels alcalins agiraient donc comme l'acide cyanhydrique dans les recherches de M. Jorissen, non en détruisant la faculté germinative, mais en retardant le phénomène.

l'application des engrais et la plantation, et où la germination et la levée ont eu lieu le même jour dans la case non fumée et dans les autres, vient à l'appui de l'une comme de l'autre explication.

Une autre phase de la vie de la betterave a été également influencée par l'application des engrais chimiques.

Les notes rendant compte du développement des plantes d'essais renseignent plusieurs fois que la maturation avançait plus rapidement dans les cases I et II (sans azote) que dans III et IV (avec azote).

Lors d'essais faits au champ d'expériences, nous avons plusieurs fois observé le même fait qui est, du reste, connu par la pratique agricole, car on s'abstient pour ce motif et pour d'autres, dans la culture de la betterave, de l'emploi d'un excès d'engrais azoté et surtout d'engrais à azote organique lentement assimilable. Nos essais en petit confirment entièrement les observations précédentes.

Le premier signe de la maturation d'un végétal bisannuel qui, comme la betterave, ne forme normalement son appareil reproducteur que la seconde année, végétal sur lequel, par conséquent, des phénomènes de fécondation et de fructification ne peuvent être observés la première année, est la disparition de la chlorophylle dans les feuilles formant les verticilles extérieurs.

Sans pouvoir, comme nous avons pu le faire pour la germination, exprimer en jours le retard apporté par le nitrate de soude à la manifestation de ce premier signe de la maturation, nos essais démontrent nettement que l'azote nitrique de l'engrais, assimilé dans le cours de la végétation ou même encore pendant les quelques jours qui précèdent la récolte, retarde la disparition de la chlorophylle formée.

En outre, le développement morphologique de la betterave se modifie sous un régime nutritif différent. Plusieurs fois dans le cours de notre étude, nous avons remarqué l'allongement tout particulier de la souche des betteraves cultivées pendant onze ans dans un sol n'ayant reçu, en dehors de la faible quantité amenée par les eaux pluviales, aucun apport d'azote. Nous avons été frappé de ce phénomène pour la première fois après la quatrième année de culture successive des betteraves, mais tout particulièrement à la fin de notre étude. La différence entre la longueur des pivots des cases

I et II (sans azote) et des cases III et IV (avec azote) a atteint alors une moyenne de 25 centimètres ; la betterave, affamée d'azote, s'allonge jusque dans la profondeur du sol à la recherche de cet important élément nutritif, tandis qu'elle conserve son « habitus » normal là où elle trouve un milieu capable de suffire à ses besoins.

Nous reconnaîtrons aussi plus loin, lorsque nous discuterons la production de la substance organique sous un régime alimentaire différent, que l'application isolée de l'azote, sans matière minérale, agit tout particulièrement sur le développement de l'appareil foliacé.

Le procès-verbal de notre étude signale l'absence de nématodes. Cette observation a son importance. Malgré les très complètes recherches du savant physiologiste de Halle [1], on entend fréquemment émettre cette opinion que la présence du nématode (*Heterodera Schachti,* découverte en Prusse en 1859, par Schacht, rencontrée par nous en Belgique, en 1883, et en France, par M. Aimé Girard, en 1884) est due ou au moins est en rapport avec un épuisement du sol, provoqué par un renouvellement trop fréquent de la culture de la betterave.

Malgré nos recherches les plus attentives, non seulement sur les radicelles de la souche, sur lesquelles se fixe ordinairement la femelle fécondée, mais aussi dans la terre environnante où se rencontre abondamment, dans les cultures infectées, le ver développé, nous n'avons jamais pu constater la présence du parasite ; cependant l'une des cases avait porté la betterave onze fois de suite sans restitution aucune des principes fertilisants enlevés.

Remarquons aussi que la construction de ces cases rend impossible toute infection du dehors, sauf par les graines, sur lesquelles cependant aucun observateur n'a jusqu'ici constaté la présence d'œufs du nématode.

Nous passons aux expériences qui se rapportent à l'*eau de drainage.*

La quantité d'eau passée à travers le mètre cube de terre mise en expérience a été sous la dépendance, les autres conditions étant

---

1. Kuhn, *Berichte aus dem physiologischen Laboratorium des landwirthschaftlichen Institutes der Universität Halle,* 3e Heft, 1881.

égales, d'une part de la hauteur d'eau de pluie tombée, d'autre part de la vigueur de la végétation. Mais tandis que cette quantité était en raison directe de l'intensité de la première cause, elle était en raison inverse du poids de la récolte. Confirmant cette observation, voici en chiffres ronds les quantités d'eau émises par les drains, rapprochées de la pluie tombée.

ANNÉES.	PLUIE en millim.	CASE I.	CASE II.	CASE III.	CASE IV.
		litres	litres	litres	litres
1881	483	111	80	65	50
1882	547	156	116	108	80
1884	384	40	21	20	12
1886	404	54	47	36	25

Les années 1883 et 1885 qui manquent dans notre tableau n'ont pas fourni d'eau de drainage ; ce sont précisément celles pendant lesquelles ont été observés les minima de pluie.

L'action des matières fertilisantes se fait aussi considérablement sentir. La production totale en substance organique suit, comme cela résulte des poids récoltés, une marche ascendante de I vers IV. De la végétation plus vigoureuse résulte une consommation plus forte d'eau par évaporation et par fixation dans les tissus, par conséquent une diminution de l'eau de drainage.

Le tableau suivant le démontre d'une manière frappante.

ANNÉES.	CASE I.		CASE II.		CASE III.		CASE IV.	
	Souches + feuilles en grammes.	Eau de drainage en litres.	Souches + feuilles en grammes.	Eau de drainage en litres.	Souches + feuilles en grammes.	Eau de drainage en litres.	Souches + feuilles en grammes.	Eau de drainage en litres.
1881	2600	111	3260	80	4215	65	5180	50
1882	3850	156	4575	116	5540	108	7180	80
1884	2460	40	3880	21	5120	20	5880	12
1886	3200	54	4440	47	5400	36	5940	25

En comparant le poids de la récolte totale au volume de l'eau de drainage, en suivant dans le sens horizontal, c'est-à-dire d'une case

à l'autre, les chiffres ci-dessus, nous constatons pour les quatre années le même fait : partout la quantité d'eau de drainage est en raison inverse du poids de la matière organique produite.

Quant à la richesse en azote des eaux ayant traversé le sol, nous avons à envisager deux groupes d'essais : le premier portant sur les cases sans fumure azotée, le second sur celles ayant reçu du nitrate de soude.

	CASES I ET II sans azote.	CASES III ET IV avec azote.		
Minimum . .	0gr,0048	0gr,0061	d'azote nitrique par litre d'eau de	drainage.
Maximum . .	0 ,0078	0 ,0098	—	—
Moyenne. . .	0 ,0062	0 ,0074	—	—

L'eau de drainage des cases avec azote est donc plus riche en nitrates que celle de la case sans fumure aucune et que celle ayant reçu une fumure de chlorure de potassium et de superphosphate. Mais il ne résulte nullement de là une perte plus grande en cette matière nutritive si précieuse.

En effet, comme nous l'avons vu plus haut, la quantité absolue d'eau passée par les drains des cases à azote est sensiblement inférieure à celle des cases sans azote ; et en définitive la perte totale en azote, malgré le titre plus élevé en nitrate de l'eau, est moins grande dans les cases III et IV que dans les cases I et II.

Perte totale en azote par l'eau de drainage pendant la durée de la végétation, de 1881 à 1886.

	CASES I ET II réunies sans azote.	CASES III ET IV réunies avec azote.
1881	1gr,46	1gr,09
1882	1 ,48	1 ,19
1884	0 ,30	0 ,21
1886	0 ,66	0 ,44
	3gr,90	2gr,93

Du tableau précédent découle cette conclusion intéressante que grâce à l'assimilation rapide de l'azote nitrique par la betterave et à l'augmentation de la production en substance organique que cette assimilation provoque, un sol fumé à l'azote perd moins pendant la durée de la végétation que le même sol non fumé. La plus grande production de substance organique diminue cette perte : 1° parce

qu'une plus forte récolte fixe plus d'azote ; 2° parce que cette plus grande production exige une plus grande consommation d'eau qui entraîne une diminution de l'eau de drainage.

Non seulement l'application au printemps de 1886 d'une dose de 4gr,59 d'azote sous forme de nitrate de soude au sol de la case IV n'augmente pas la perte en azote par les drains, mais elle réduit même celle de l'azote originaire du sol ou de l'eau de pluie.

Cette observation intéressante est d'ailleurs conforme aux longues recherches sur la composition des eaux de pluie et de drainage faites à Rothamsted par MM. Lawes, Gilbert et Warington [1] dont une des conclusions était : l'eau de drainage d'un sol non cultivé renferme trois fois autant d'azote nitrique que celle du même sol portant froment sans fumure azotée. Ce que les savants chimistes anglais ont constaté pour le sol nu et pour le sol cultivé en froment, mais sans engrais, nous l'avons observé en comparant le sol cultivé en betteraves non fumé avec le sol cultivé et fumé.

Nous avons jusqu'à présent fixé particulièrement notre attention sur la comparaison entre les cases sans azote et les cases avec azote. Le même fait se constate aussi concernant la composition des eaux de drainage, lorsqu'on met en parallèle la case ayant reçu de l'azote seul et celle qui a reçu en même temps de la potasse et de l'acide phosphorique.

Richesse en azote de l'eau de drainage pendant la durée de la végétation, années 1881 à 1886.

	CASE III. Azote.	CASE IV. Azote + potasse + acide phosphorique.	
1881.	0gr,60	0gr,49	d'azote nitrique par litre.
1882.	0 ,69	0 ,50	—
1884.	0 ,12	0 ,09	—
1886.	0 ,26	0 ,18	—
	1gr,67	1 ,26	—

Ces chiffres prouvent que la perte en azote est plus élevée lorsqu'on donne l'azote seul que lorsqu'on lui associe la potasse et l'acide phosphorique.

1. *Journal of the Royal agricultural Society*, 2e série, vol. 17 et 18.

Les observations précédentes permettent d'expliquer ce fait.

Le maximum de la production en substance organique a été obtenu lorsque nous avons mis à la disposition de la betterave les trois principaux éléments nutritifs sous un état facilement assimilable. Les conditions de nutrition se trouvaient à l'optimum. Nous avons récolté sensiblement plus dans IV que dans III, où l'azote n'a pas pu produire son maximum d'effet, les autres éléments nutritifs, potasse et acide phosphorique, se trouvant au minimum. La plus forte production de substance organique dans IV a exigé plus d'eau ; de là diminution de l'eau de drainage avec diminution de la perte en azote comme conséquence.

La remarque que nous avons faite pour la comparaison de la case à azote seul (III) et de celle à engrais complet (IV) s'applique également à la case non fumée (I) et à celle ayant reçu du chlorure de potassium et du superphosphate, sans azote (II).

La production de la dernière case est légèrement, mais régulièrement supérieure à I. La nitrification de l'azote organique du sol, l'apport du carbonate, du nitrate et du nitrite d'ammoniaque de l'eau de pluie, ont fourni une certaine dose d'azote immédiatement assimilable qui a permis à la plante d'utiliser au moins une partie de la fumure potassique et phosphorique, sans que ces deux éléments nutritifs aient pu produire leur maximum d'effet, l'azote étant au minimum.

Une production plus forte de substance organique était accompagnée d'une plus forte consommation d'eau.

Le volume d'eau qui s'est écoulé par le drain a diminué, et de là, réduction de la perte en azote.

Perte totale en azote par l'eau de drainage pendant la durée de la végétation, de 1881 à 1886.

	CASE I. Sans engrais.	CASE II. Potasse + acide phosphorique.	
1881.	$0^{gr},87$	$0^{gr},59$	d'azote nitrique par litre.
1882.	0 ,78	0 ,70	—
1884.	0 ,19	0 ,11	—
1886.	0 ,34	0 ,32	—
	$2^{gr},18$	$1^{gr},72$	

Pour faciliter la discussion des questions ayant rapport à la production de la substance organique, nous réunirons dans un tableau les poids en grammes des souches produites pendant les onze années d'essais.

	I. — Sans restitution.	II. — Matière minérale.	III. — Azote.	IV. — Matière minérale et azote.
1876. Essai préliminaire	2 056	2 101	2 122	1 995
1877. Le régime de la restitution commence	1 698	2 020	3 240	3 680
1878	3 692	4 441	4 837	5 167
1879	968	1 085	1 888	2 470
1880	1 330	1 910	1 990	3 770
1881	1 750	2 200	2 590	3 790
1882	2 830	3 250	3 740	5 110
1883	2 370	3 100	3 140	4 350
1884	1 650	2 500	3 020	3 950
1885	1 490	1 905	2 220	2 870
1886	2 400	3 075	3 500	3 803
Production totale de 10 ans	20 178	25 546	30 165	38 960
Production moyenne annuelle	2 018	2 555	3 017	3 896

Nous constatons tout d'abord que, malgré une culture successive de la betterave pendant onze années sans nul apport d'un principe fertilisant, aucun signe d'épuisement du sol ne s'est fait sentir dans la case I. L'approvisionnement du sol mis en expérience, le carbonate d'ammoniaque et le nitrate d'ammoniaque de l'atmosphère ont fourni une somme assez grande de principes fertilisants assimilables pour satisfaire la nutrition d'une faible récolte.

La restitution seule de la matière minérale enlevée a eu chaque année pour effet une augmentation de production de plusieurs centaines de grammes, en moyenne 537 grammes, dépassant de beaucoup la limite d'erreur établie précédemment. La même chose s'observe pour la case III, à restitution exclusive de l'azote. La production est chaque année supérieure à celle de la case I ; la moyenne générale d'augmentation est de 999 grammes. Cela prouve, en confirmant le résultat fourni par I, que l'apport en matière minérale seule dans II et l'apport en azote seul dans III, ont pu être utilisés à

une production plus forte en substance organique, grâce, dans le premier cas, à l'azote, dans le second, aux matières minérales du sol. Mais l'un et l'autre de ces apports sont insuffisants pour pousser la production de la végétation au maximum ; celui-ci a été atteint seulement dans la case IV (restitution d'azote et de matière minérale). Ici la production de la substance organique a été chaque année considérablement supérieure à celle des autres cases et la moyenne de 3 896 grammes atteint presque le double de celle sans restitution aucune.

Nous verrons plus loin que c'est aussi la case IV qui a produit le plus de sucre.

Il faut donc à l'espèce betterave le concours simultané de l'azote et des matières minérales, donnés comme engrais, pour produire le maximum de substance organique, même dans un sol pourvu de tous les principes fertilisants. Autrement dit, on ne peut pas compter, en restituant les matières minérales seules, que les sources naturelles de l'azote soient suffisantes pour l'utilisation maximum de ces matières minérales.

D'autre part, la désagrégation[1] du sol que nous avons expérimenté ne rend pas annuellement assez de matières minérales assimilables pour produire à l'aide de la restitution azotée seule le maximum de matière organique.

Physiologiquement parlant, les deux groupes d'éléments nutritifs possèdent la même importance. L'un ne peut sans l'autre, dans les conditions déterminées de notre expérimentation, provoquer le maximum de l'utilisation de l'acide carbonique de l'air, c'est-à-dire de sa transformation en substance organique. Mais au point de vue agronomique, c'est-à-dire au point de vue de la production du maximum de récolte, il résulte des rendements de nos cases la plus grande importance que possède l'azote pour le sol donné. Le groupement suivant de la production moyenne le démontre clairement :

---

1. Grundermann a déjà démontré en 1869 (*Zeitschrift für Rübenzuckerindustrie*) que la désagrégation d'un sol constitué artificiellement par de l'argile, du sable, du calcaire, etc., ne met pas en liberté assez de potasse, de chaux, d'acide phosphorique, etc. pour couvrir les besoins d'une récolte moyenne.

Rendement décennal moyen en grammes.

SANS ENGRAIS.	ON AJOUTE matière minérale.	SUBSTANCE ORGANIQUE produite en plus.
2018	2555	537

AZOTE.	ON AJOUTE matière minérale.	SUBSTANCE ORGANIQUE produite en plus.
3017	3896	879

SANS ENGRAIS.	ON AJOUTE AZOTE.	SUBSTANCE ORGANIQUE produite en plus.
2018	3017	999

MATIÈRE MINÉRALE.	ON AJOUTE AZOTE.	SUBSTANCE ORGANIQUE produite en plus.
2555	3896	1341

Les variations d'année en année et d'une case à l'autre dans le poids des souches récoltées sont suivies de près par le poids de l'appareil foliacé; c'est pour cela que nous voyons que le rapport moyen est à peu près le même dans les cases I, II et IV, savoir respectivement 1 à 0,426, à 0,460, à 0,416; seule, la case III, au régime exclusif d'azote, fait exception ; le rapport est sensiblement supérieur : 1 à 0,535.

Cette action particulière de l'azote sur le développement de la partie foliacée de la betterave, constatée déjà par plusieurs observateurs[1], s'accuse même par l'aspect de la plante. En effet, dans plusieurs années d'essais, la case à azote se distinguait de loin.

La moyenne générale du rapport de la souche à la partie foliacée a été, dans la case que nous pouvons considérer comme se trouvant sous l'influence d'un régime alimentaire normal de 1 à 0,416. Ce chiffre ne doit naturellement pas être généralisé. Le rapport existant entre la partie souterraine et la partie hors terre de la betterave à sucre est un caractère de la variété se transmettant par hérédité. La relation $\frac{1}{0.416}$ n'exprime donc que le rapport moyen de la souche à la partie foliacée de la betterave de la variété silésienne, alimentée normalement et arrivée à un degré normal de maturité. Ce rapport

1. Hanamann, *Journal für Landwirthschaft,* 1876.

se modifie sensiblement suivant le régime nutritif et les conditions météorologiques, c'est-à-dire sous l'influence du milieu à laquelle aucun être vivant n'échappe ; c'est ainsi que nous le voyons osciller entre $\frac{1}{0.606}$ et $\frac{1}{0.270}$.

Ce qui frappe le plus dans l'examen de tous les chiffres ayant rapport à la production de la substance organique, c'est la grande variation du poids de celle-ci d'une année à l'autre. Voici donc quatre cases de végétation qui ont été soumises pendant dix années, chacune en ce qui la concerne, absolument au même traitement : mêmes conditions générales de l'essai, mêmes semences, même régime nutritif et, malgré cela, nous voyons osciller le poids des souches dans des limites très larges.

	MINIMUM.	MAXIMUM.
Case I	968	3 692
Case II	1 085	4 441
Case III	1 888	4 837
Case IV	2 470	5 167

Ces différences, qui vont pour les cases I et II du simple presque au quadruple, pour les autres, du simple au delà du double, ne peuvent être produites que par ceux des facteurs de l'expérience qui, seuls, ont varié d'une année à l'autre. Ce sont les conditions météorologiques. Nous tâcherons de préciser la part qui revient dans les écarts observés à chacun des grands facteurs de la production végétale : l'eau, la chaleur et la lumière.

Remarquons tout d'abord que tous les physiciens et physiologistes, depuis Boussingault jusqu'à Marié Davy, à qui nous devons les belles études récentes sur cette question, sont d'accord qu'il faut à la betterave pour son développement normal un minimum de 2200 à 2400 degrés de chaleur. En comparant, d'après nos procès-verbaux d'essais, les rendements obtenus avec la hauteur de pluie, les degrés de chaleur, etc., on constate : 1° que tous les ans nos plantes ont reçu au delà du minimum de chaleur exigé ; 2° que le maximum de la substance organique produite ne concorde pas avec le maximum de chaleur, mais bien avec celui de l'eau tombée.

En effet, les rendements maxima ont été obtenus dans les quatre cases en 1878 et 1882, années qui nous ont fourni les maxima de

pluie. En comparant ainsi successivement nos résultats, année par année, on remarque qu'il existe entre les récoltes et l'eau tombée une concordance plus grande qu'entre les récoltes et les degrés de chaleur. Les exceptions ne manquent pas, elles doivent du reste se produire puisque l'influence que l'eau exerce ne dépend pas seulement de la hauteur totale de la couche aquifère, mais d'une répartition plus ou moins favorable sur toute la durée de la végétation. Mais en embrassant l'ensemble de l'expérience décennale et en fixant son attention sur le parallélisme plus ou moins grand existant entre les différents facteurs mis en comparaison, on arrive nécessairement à cette conclusion que la production de la substance organique à l'état de betterave, le minimum de la chaleur nécessaire à la végétation étant fourni, est plus en rapport avec la hauteur de pluie qu'avec l'excès de chaleur.

Nous avons démontré plus haut que, pour une variété donnée et pour chacune des cases, la production de la partie foliacée est en rapport constant avec le poids de la souche. Aussi les diagrammes représentant le poids des feuilles montrent-ils de leur côté plus de concordance avec ceux de la pluie qu'avec ceux de la chaleur.

Le résultat le plus intéressant de cette partie de nos essais a rapport à l'élaboration saccharine. En dressant un diagramme exprimant les taux du sucre emmagasiné dans les souches, et en le comparant avec ceux figurant les facteurs météorologiques, on est frappé de la concordance beaucoup plus grande que l'on constate entre la formation du sucre et l'intensité de l'éclairage qu'entre la richesse saccharine et la chaleur, et cela pour toutes les cases.

Malgré la défectuosité inhérente à la détermination de la quantité de lumière, le parallélisme des diagrammes de la planche II est très remarquable, tout particulièrement dans les cases I et II. L'année 1882 est surtout digne de remarque. Malgré la quantité élevée de 2829° de chaleur, somme qui ne diffère que de quelques degrés du maximum observé pendant dix ans, avec une température moyenne de 14°58 C. par jour de végétation, le taux de sucre est dans la première case au minimum et s'en rapproche dans les trois autres. Et c'est l'année 1882 qui nous a fourni le minimum d'éclairage, savoir 2,7.

D'autre part, la plus forte richesse saccharine dans les quatre cases a été constatée en 1886, année dont l'intensité de l'éclairage monte au maximum de 3,9.

Le relevé suivant vient encore à l'appui de ce que nous avançons en classant les années de 1877 à 1886 en années « à éclairage relativement fort » (au delà de 3,5) et en années « à éclairage relativement faible » (en-dessous de 3,2), et en comparant les richesses saccharines moyennes des souches correspondant à ces diverses années.

Années à éclairage relativement fort.

	INTENSITÉ de l'éclairage.	RICHESSE saccharine moyenne.
1877	3.7	13.27
1878	3.6	12.02
1880	3.6	12.25
1881	3.8	12.95
1884	3.8	12.87
1886	3.9	14.79

Années à éclairage relativement faible.

	INTENSITÉ de l'éclairage.	RICHESSE en saccharine moyenne.
1879	3.2	10.12
1882	2.7	10.54
1883	3.2	11.59
1885	3.2	11.79

Nous sommes bien loin d'obtenir la même concordance entre les degrés de chaleur et la richesse saccharine que celle que nous renseigne le tableau précédent entre l'intensité de l'éclairage et le sucre produit.

Considérons comme « relativement chaudes » les années qui ont fourni à la végétation de la betterave une somme de chaleur supérieure à 2607° (moyenne de 10 ans) et comme « relativement froides » celles où cette somme n'a pas été atteinte et mettons en regard, comme nous l'avons fait précédemment, la richesse saccharine moyenne.

Années relativement chaudes.

	DEGRÉS de chaleur.	RICHESSE saccharine moyenne.
1880	2 875	12.25
1881	2 699	12.95
1882	2 829	10.54
1884	2 706	12.87
1886	2 745	14.79

Années relativement froides.

	DEGRÉS de chaleur.	RICHESSE saccharine moyenne.
1877	2 594	13.27
1878	2 514	12.02
1879	2 321	10.12
1883	2 492	11.59
1885	2 292	11.79

Il est regrettable que M. Briem, dans ses laborieuses études sur les relations de la betterave à sucre avec les phénomènes météorologiques[1], ait complètement fait abstraction du facteur « lumière ». Il y a d'autant plus lieu de s'en étonner, que c'est à lui que l'on doit la première constatation de ce fait que les betteraves poussées à l'ombre d'arbres renferment moins de saccharose que celles qui ont végété en plein champ. Cela aurait certainement empêché cet habile observateur de conclure à la prédominance de l'influence « chaleur » dans la formation du sucre. D'autres expérimentateurs, ne se préoccupant de l'état du ciel que pour une période relativement courte avant l'analyse de la souche, n'ont pu arriver à des conclusions dont on puisse tenir compte.

Les observations relatives à l'intensité de l'éclairage doivent nécessairement être commencées dès la formation des premières feuilles, car on sait par les recherches de Péligot, maintes fois confirmées depuis, que la jeune betterave de l'âge de quelques jours seulement et ne pesant que quelques décigrammes renferme déjà 5 p. 100 de saccharose.

Mais les résultats de nos expériences sont absolument d'accord avec ceux auxquels est arrivé M. Aimé Girard.

1. Briem, *Biedermann's Centralblatt*, 1880.

Depuis que Péligot, il y a un demi-siècle, et longtemps après lui M. Mehay et M. Sotsmann ont démontré dans les feuilles de betteraves la présence du sucre cristallisable, les physiologistes ont commencé à reconnaître le rôle capital qui, sous l'influence de la lumière, revient aux feuilles dans la formation du saccharose. Toutefois, malgré les nombreuses études entreprises depuis cette date, les opinions sur le mécanisme de cette formation étaient si peu d'accord qu'on a vu s'engager au sein de l'Académie de Paris, quarante ans après la découverte de Péligot, une longue discussion entre Cl. Bernard, Duchartre, Pasteur, Boussingault et Berthelot. Ce n'est que dix ans plus tard que M. Aimé Girard [1], dans un travail remarquable, avança considérablement la solution de la question en démontrant par l'expérience directe [2] la formation diurne du saccharose dans les limbes et la migration consécutive de ce saccharose vers la souche où il s'emmagasine.

Les résultats de nos essais, commencés huit années avant les recherches de M. Girard [3] continués encore un an après sa première

---

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* T. XCVII.

2. Les preuves indirectes de l'influence de la lumière solaire sur la richesse saccharine des souches sont nombreuses :

Pagnoul, *Culture de betteraves sous châssis et en plein champ* (*Annales agronomiques,* 1879).

Briem, *Biedermann's Centralblatt,* 1881. — Lach, *Biedermann's Centralblatt,* 1885. — Chevron, *Bulletin de l'agriculture,* 1886. *Richesse comparative de betteraves poussées à l'ombre de platanes et d'ormes et en plein champ.*

Marek, *Influence de l'orientation des semis sur la richesse des betteraves* (*Zeitschrift für Rübenzuckerindustrie,* 1886).

Il convient également de citer ici toutes les recherches de Schacht, Nobbe, Corenwinder, Duchartre, Dehérain, Breitenlohner, Champion et Pellet, Durin, etc., desquelles résulte l'influence fâcheuse de l'effeuillaison des betteraves sur leur richesse saccharine. Le producteur de betteraves sait aussi que les variétés les plus riches sont celles dont le feuillage est plus ou moins étalé sur le sol au lieu d'être relevé vers l'axe longitudinal de la betterave. L'éclairage des feuilles est évidemment plus intense dans le premier cas que dans le second (Durin).

3. Les expériences de M. Aimé Girard tendent à renverser l'opinion généralement admise et basée sur les travaux de M. F. Sachs (*Pringsheim's Jahrbücher,* 3) et de M. de Vries (*Landwirthschaftliche Jahrbücher,* 1879) d'après lesquels le mécanisme de la saccharogénie est le suivant : formations diverses de l'amidon dans les feuilles, transformation de l'amidon en glucose, écoulement nocturne de celle-ci dans la souche et transformation finale de la glucose en saccharose.

publication, conduisent aux mêmes conclusions quant à la démonstration de l'intervention de la lumière dans la saccharogénie de la betterave. Nos essais augmentent même considérablement la portée de ces conclusions, car nous croyons avoir démontré le fait suivant : pour une variété donnée, toutes conditions égales et le minimum de calorique nécessaire à la végétation normale étant fourni, le quantum de sucre contenu dans la souche au moment de la récolte est en raison directe de l'intensité de l'éclairage qui a régné pendant toute la durée de la végétation.

En examinant l'ensemble de la composition de nos plantes d'essais de 1885 et de 1886 soumises à l'analyse complète, on constate que le taux des éléments constitutifs, rapportés à la matière sèche, varie entre des limites très écartées, quoique nous nous trouvions en présence d'une même variété de l'espèce betterave, mais produite dans des années différentes et sous un régime alimentaire varié. Voici, en effet, les minima et maxima constatés dans la matière sèche :

	MINIMUM.	MAXIMUM.
	—	—
Matières albuminoïdes	4.06	8.01
Matières grasses	0.29	0.59
Saccharose	67.14	75.39
Matières extractives	7.67	19.60
Cellulose	5.06	6.81
Matières minérales	2.57	6.19

Le taux des matières minérales, de l'albumine brute et de la graisse brute varie du simple au double, celui du saccharose et de la cellulose beaucoup moins. Les matières extractives non sucre montrent une proportion très variable.

La cellulose de nos analyses représentant la somme totale des parois de toutes les cellules constituant les tissus des souches, et le taux de cette cellulose étant peu variable, on doit admettre que, quelles que soient les influences extérieures qui agissent sur le développement et la composition de la betterave, la charpente cellulaire de celle-ci n'éprouve, pour une variété donnée, que peu de changement quant à sa quantité. C'est la composition du suc cellulaire remplissant cette charpente, composition constatée au moment

de la maturité, qui est surtout variable et tout particulièrement le taux de ce suc en matières minérales et en matières azotées.

Quant aux divers principes immédiats carbonés, divers corps qui les composent se rencontrent également dans une proportion très variable ; mais, fait intéressant, leur somme totale est, tout en présentant certains écarts, presque la même dans les diverses cases ; la concordance pour l'année 1886 est même grande.

Somme totale des principes immédiats carbonés contenus dans la matière sèche des souches.

	I.	II.	III.	IV.
1885	83.81	83.63	78.79	80.59
1886	86.55	87.02	87.87	87.05

Il y a donc, quel que soit le régime alimentaire, production à peu près égale d'hydrates de carbone, dont plus ou moins de saccharose suivant l'intensité de l'éclairage.

Passons aux matières azotées. Depuis que l'on a reconnu que les combinaisons organiques azotées des plantes ne sont que partiellement composées de matières albuminoïdes proprement dites et que le taux des corps amidés (asparagine, acide aspartique, acide glutamique, glycocolle, leucine et tyrosine), de glucosides azotés (amygdaline), d'alcaloïdes (bétaïne) et de peptones rencontrés dans l'organisme végétal est beaucoup plus considérable qu'on ne l'avait pensé d'abord [1], l'analyse quantitative appliquée à la physiologie végétale a dû considérablement modifier ses procédés. Le dosage total a dû être complété par la séparation des corps non albuminoïdes d'après la méthode de M. Stutzer.

C'est ce que nous avons fait également pour les plantes d'essais de 1886 en obtenant les résultats suivants.

---

1. Nous citons à titre d'exemple que M. Kellner a constaté que les graminées de prairies renferment sur 100 parties d'azote organique total, 22 à 35 d'azote non albuminoïde. Lors d'une étude que nous avons entreprise sur la composition du topinambour (*Bulletin de la Station agronomique*, n° 36, août 1886 et *Annales de la Science agronomique*, T. I, 1884), nous avons démontré que sur 100 parties d'azote contenues dans ce tubercule, 57.1 seulement se trouvent à l'état d'albuminoïdes, soit donc 42.9 à l'état d'amides.

La matière sèche des souches renferme :

	I.	II.	III.	IV.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Azote total	0.733	0.767	0.649	0.858
Azote albuminoïde	0.391	0.474	0.361	0.443
Azote des corps amidés	0.342	0.293	0.288	0.315

On reconnaît que pour la betterave à sucre la proportion des corps azotés non albuminoïdes est très élevée ; sur 100 parties d'azote total, il y a en effet :

	I.	II.	III.	IV.
Azote albuminoïde	53.3	63.1	55.6	58.4
Azote non albuminoïde	46.7	36.9	44.4	41.6

Le régime alimentaire différent sous lequel végétaient nos plantes d'essais n'a pas influencé sensiblement la proportion relative des différentes combinaisons azotées, tout comme nous ne pouvons pas conclure à une augmentation du titre pour cent d'azote total sous l'influence des engrais azotés. Il est vrai qu'en 1885 les cases « sans azote » ont produit des betteraves titrant en matière sèche 0.820 et 0.884 et les cases « avec azote » 1.281 et 1.218 p. 100 d'azote total ; mais cette différence ne se renouvelle pas en 1886. Nous nous abstenons, par conséquent, de conclure sous ce rapport.

Il s'agit, bien entendu, de la composition centésimale, car la restitution de l'azote, comme nous l'avons reconnu plus haut, a provoqué une forte augmentation de la substance organique, par conséquent une augmentation de la quantité totale de l'azote contenu dans la récolte des cases III et IV.

En comparant la moyenne du saccharose des cases « sans azote » et celle des cases « avec azote » on constate, sous l'influence de l'application du nitrate de soude, une légère dépression de l'élaboration saccharine.

1885.	I ET II. Sans azote.	III ET IV. Avec azote.
	P. 100.	P. 100.
Richesse saccharine moyenne de la matière sèche	72.51	68.93
1886.		
Richesse saccharine moyenne de la matière sèche	69.78	67.85

Nos connaissances sur la fonction spéciale que remplit dans la nutrition végétale chacun des principaux éléments nutritifs ne sont pas assez avancées pour fournir une explication qui soit plus qu'une hypothèse.

Cependant, en rapprochant ce fait de l'observation que nous avons constatée sur la maturation, — nous avons dit, en effet, que dans les plantes à azote la disparition de la chlorophylle était retardée, — on pourrait admettre que l'azote nitrique retarde également l'écoulement [1], si bien démontré par M. Aimé Girard, du saccharose par les vaisseaux des feuilles vers le tissu vasculaire.

La diminution du titre pour cent en sucre due à l'azote est plus que compensée par l'action énergique de ce principe fertilisant sur le poids de la récolte. Il en résulte que la production totale du sucre par case va en augmentant de I à IV.

Poids total en grammes de sucre produit par case.

	I. — Rien.	II. — Matière minérale.	III. — Azote.	IV. — Matière minérale et azote.
1876. Année préliminaire	243	248	216	239
1877	225	240	454	512
1878	489	458	522	722
1879	99	103	202	249
1880	173	241	225	456
1881	235	282	326	490
1882	277	325	411	581
1883	266	319	358	561
1884	214	325	384	506
1885	190	244	242	309
1886	357	462	515	552
Total pour dix ans	2 511	3 030	3 639	4 938
Moyenne	251	303	364	494

Nous avons, dans les précédentes considérations sur la composition de la betterave, rapporté les résultats de nos analyses à la ma-

1. M. Strohmer (*Oest.-Ung. Zeitschrift für Zuckerindustrie,* 1889) vient de démontrer que le nitrate de soude absorbé par la betterave s'accumule principalement dans les feuilles.

tière sèche, afin de les rendre comparables entre eux. Arrêtons-nous un instant à la proportion d'eau constatée au moment de la récolte. Nous avons déjà démontré en 1874 [1], que la quantité d'eau contenue dans la souche de la betterave constitue un caractère de la variété et qu'elle dépend, pour une même variété, de l'écartement des plantes.

D'après nos essais et analyses de 1885 et 1886, les autres conditions étant égales, la quantité d'eau n'est pas influencée par le régime alimentaire. Nous voyons en effet que nos analyses renseignent des écarts peu sensibles du titre en eau, et aucune influence particulière ne peut être attribuée à telle ou telle matière fertilisante appliquée à la dose raisonnable exigée par la simple restitution des principes nutritifs enlevés par la récolte précédente.

	MINIMUM.	MAXIMUM.
	—	—
1885.	81.72	84.56 p. 100 d'eau.
1886.	78.39	79.35 —

En additionnant pour chaque groupe des quatre lots de betteraves dont nous avons fait l'analyse complète, l'eau et le sucre, on constate que cette somme fournit un chiffre sensiblement le même, savoir :

1885.

	I.	II.	III.	IV.
	—	—	—	—
Eau + sucre.	94.45	95.82	94.91	95.31

1886.

Eau + sucre.	93.53	93.81	93.25	92.90

Ce fait a déjà été constaté par nous dans plusieurs recherches. Il a été confirmé par le travail déjà cité de M. Aimé Girard et par M. Grassmann [2] qui ont constaté en outre que ce fait est vrai, non seulement au moment de la maturité, mais même pendant toute la durée de la végétation d'une variété donnée. L'eau et le sucre se remplacent donc mutuellement.

---

1. *Recherches de chimie, etc*, 2e édit., p. 281 et 282.
2. *Zeitschrift*, mars 1887.

Nous passons maintenant à la discussion des chiffres ayant rapport à la matière minérale. C'est une chose parfaitement connue que la composition centésimale des cendres végétales varie considérablement avec la composition du milieu où végètent les plantes. Nous le constatons à nouveau pour les analyses des cendres de nos betteraves. Mais quelque considérable que soit la variation de la composition centésimale des cendres, elle influe d'une manière peu appréciable sur celle de la betterave, la somme des matières minérales n'entrant que pour une faible part dans le poids total du végétal. Sauf pour quelques principes nutritifs d'importance secondaire, les différences s'effacent pour ainsi dire complètement. Il suffit de consulter, pour s'en convaincre, les tableaux des pages 53 et 54, donnant la composition immédiate des souches. Quelques particularités intéressantes se font cependant remarquer.

En distinguant d'abord les plantes « avec azote » et celles « sans azote », on constate que l'application du nitrate de soude a fait monter régulièrement l'assimilation de la soude.

	1885.	1886.
	P. 1000.	P. 1000.
Richesse moyenne en soude des betteraves sans nitrate.	0.50	0.26
— — avec nitrate.	1.12	0.31

Cette augmentation de la richesse en soude n'a pas déprécié l'assimilation de la potasse du sol ni celle de l'engrais.

C'est une nouvelle preuve contre la prétendue faculté des alcalis de pouvoir se remplacer réciproquement dans leurs fonctions physiologiques[1].

---

1. Les essais de nutrition végétale faits dans des solutions ont du reste prouvé le peu de fondement de cette théorie. Nous citons, à titre d'exemple, que lors d'une étude exécutée par nous en 1874 sur le rôle de la potasse dans la nutrition du lin, nous n'avons jamais réussi à élever cette plante dans une solution nutritive composée par litre de : 0^{gr},0585 de chlorure de sodium; 0^{gr},2666 de phosphate de soude; 0^{gr},0300 de sulfate de magnésie et 0^{gr},8200 de nitrate de chaux.

Dans une solution renfermant, outre les éléments nutritifs précités, 0^{gr},3480 de sulfate de potasse, le lin a parcouru normalement toutes les phases de sa végétation, en donnant des graines parfaitement constituées et aptes à germer.

Les betteraves des cases II et IV, fumées au chlorure de potassium, sont plus riches en potasse que celles qui n'en ont pas reçu.

	1885.	1886.
	—	—
	P. 1000.	P. 1000.
Richesse moyenne en potasse des betteraves sans chlorure de potassium.	3.19	1.94
— — avec chlorure de potassium.	3.49	2.43

Chaque application de chlorure de potassium est suivie par une augmentation du titre en chlore de la betterave. C'est, du reste, un fait connu ; il peut même se produire avec une intensité telle que l'élaboration saccharine s'en ressente :

	1885.	1886.
	—	—
	P. 1000.	P. 1000.
Richesse moyenne en chlore des betteraves sans chlorure de potassium.	0.13	0.025
— — avec chlorure de potassium.	0.53	0.08

L'application d'engrais phosphatés n'a pas modifié la richesse en acide phosphorique des betteraves, même lorsque l'on compare les cases I et III qui, pendant dix ans, n'ont pas reçu de fumure phosphatée, avec II et IV où la restitution a été opérée régulièrement.

Quant à l'état chimique sous lequel l'acide phosphorique a été absorbé, nos essais ne confirment pas l'opinion émise par Corenwinder, qui admet que l'acide phosphorique et la magnésie entrent dans la cellule végétale comme phosphate ammoniaco-magnésien, ces deux corps se trouvant, d'après lui, dans la proportion de $2MgO : Ph^2O^5$.

Ce que nous venons de constater pour l'acide phosphorique est vrai aussi pour les bases alcalino-terreuses.

Les quantités de certains éléments minéraux, phosphore, calcium, magnésium, se trouvant pour une année donnée à peu près dans les mêmes proportions dans les betteraves de la case non fumée que dans les autres, il en résulte que ce végétal absorbe ces éléments dans une certaine proportion plus ou moins fixe, quelle qu'en soit la quantité mise à sa disposition dans le sol qui l'a produit.

Et, chose remarquable, les éléments pour lesquels nous avons constaté cette particularité sont précisément ceux dont les combi-

naisons (phosphate, carbonate[1]) traversent difficilement les membranes ou plutôt, comme il convient de dire d'après M. Nägeli et M. de Vries[2], la couche protoplasmique qui tapisse l'intérieur des membranes cellulaires, tandis que c'est le contraire pour le chlore, le potassium et le sodium dont nous avons vu monter la proportion sous l'influence des engrais.

Nous nous sommes occupé jusqu'à présent des matières minérales en comparant, pour *la même année,* les cases soumises à un régime nutritif varié. Examinons aussi les différences qui se constatent *d'une année à l'autre.*

Sous ce rapport, on est surtout frappé du fait que la diminution du titre total en acides cadre avec une diminution des alcalis et avec une augmentation de la chaux et de la magnésie.

Le relevé suivant fait voir cette relation :

	MOYENNES.	
	1885.	1886.
	—	—
	P. 1000.	P. 1000.
Somme des acides	2.00	1.11
Somme des alcalis	4.25	2.47
Chaux	0.50	0.76
Magnésie	0.40	0.52

On peut en conclure que les alcalis sont absorbés non seulement à l'état de chlorure, mais aussi de sulfate, silicate, etc. ; la chaux et la magnésie à l'état de carbonate.

Nous nous abstenons, quelque séduisant que cela puisse être, d'examiner les relations déterminées par l'analyse entre le taux de tel ou tel principe organique.

L'étude du rôle spécifique que joue sous ce rapport chacun des constituants des cendres n'était du reste pas dans le programme de nos recherches.

Les végétaux faisant souvent, à raison de l'influence du milieu,

---

1. Les recherches de M. LEPLAY (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris,* T. LI et LIII) tendent à démontrer que pendant toute la durée de sa végétation la betterave absorbe de la chaux à l'état de carbonate.

2. Sur la perméabilité du protoplasme des betteraves rouges (*Archives néerlandaises,* T. VI, p. 117).

une consommation luxueuse de certains éléments minéraux, ainsi que nous l'avons constaté dans ce travail pour le chlore, la soude et la potasse, la comparaison entre le taux de tel ou tel élément minéral et celui de tel ou tel principe organique, rencontrés au moment de la maturation, ne peut pas nous préoccuper.

Pour déterminer avec précision la part qui revient à chacune des matières minérales dans l'élaboration des principes immédiats, on ne peut pas se borner à établir la composition du végétal, il faut produire celui-ci dans un milieu stérile (eau distillée, sable stérile) avec le concours mesuré et progressif des solutions nutritives [1]. En un mot, l'analyse *a posteriori* doit être remplacée par la synthèse.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS.

1° L'application d'un engrais chimique composé de nitrate de soude, de chlorure de potassium et de superphosphate de chaux à la dose qu'exige la simple restitution des principes fertilisants enlevés par la récolte précédente, peut retarder la germination des graines de 0 à 3 jours suivant le degré d'humidité que présente le sol. Deux causes contribuent à produire ce phénomène : d'une part, l'acide phosphorique libre et les sels alcalins agissent comme antiseptique sur les ferments qui provoquent la germination et, d'autre part, l'engrais chimique, très hygroscopique et s'emparant avec avidité de l'eau du sol pour se dissoudre, soustrait une partie de l'humidité dont la graine a besoin pour ramollir son péricarpe et liquéfier son endosperme.

1. C'est ainsi que M. Nobbe (*Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen*, Bd. XVIII, 1875) a pu démontrer que, sans le concours du potassium, les grains chlorophylliques sont incapables de former l'amidon, et que nous avons reconnu lors de recherches faites avec Kohlrausch (*Organ des Vereins für Rübenzuckerindustrie*, 1872) que dans un sol artificiel et stérile, l'énergie de l'élaboration saccharine augmente dans la proportion de la potasse ajoutée à l'état de phosphate ou de carbonate. Recherches continuées et confirmées par M. Strohmer (*Oest.- Ung. Zeitschrift für Zuckerindustrie*, 1889).

2° Le développement morphologique de la betterave se modifie sous l'influence du milieu, c'est-à-dire sous un régime nutritif différent. Le pivot d'une betterave affamée d'azote s'allonge considérablement dans la profondeur du sol à la recherche de cet important élément nutritif, tandis que la plante conserve son « habitus » normal là où elle trouve un milieu capable de suffire à ses besoins. L'application de l'azote provoque un développement particulièrement abondant de l'appareil foliacé.

Le rapport existant entre la partie souterraine et la partie hors terre de la betterave est un caractère de la variété se transmettant par hérédité. Pour la variété expérimentée, « la blanche de Silésie », il a été de $\frac{1}{0,416}$ en moyenne. Ce rapport se modifie sensiblement suivant le régime nutritif et les conditions météorologiques, c'est-à-dire sous l'influence du milieu.

3° La maturation de la betterave, annoncée par la disparition de la chlorophylle dans les feuilles formant les verticilles extérieurs, est retardée par l'application de l'azote sous forme de nitrate de soude.

4° Malgré la production dans le même sol de onze récoltes successives de betteraves, on n'a jamais pu constater le nématode, même dans la case sans restitution aucune.

5° La quantité d'eau passée à travers le mètre cube de terre employée à l'expérience a été sous la dépendance, d'une part, de la hauteur d'eau de pluie, d'autre part, de la vigueur de la végétation : en raison directe de l'intensité de la première cause, en raison inverse du poids de la substance organique.

6° L'eau de drainage des cases fumées au nitrate de soude a été plus riche en azote que celle des cases fumées aux engrais minéraux seuls. Mais comme la quantité absolue d'eau recueillie dans les premières cases est sensiblement inférieure à celle fournie par les autres, la perte totale en azote, malgré le titre plus élevé en nitrate de l'eau de drainage, est, en définitive, moins grande dans les cases « avec azote » que dans celles « sans azote ».

Grâce à l'assimilation rapide de l'azote nitrique par la betterave et à l'augmentation de la production en substance organique que cette assimilation provoque, un sol fumé à l'azote en perd moins

pendant la durée de la végétation que le même sol sans engrais aucun.

La plus grande production de substance organique diminue cette perte : 1° parce qu'une plus forte récolte fixe plus d'azote ; 2° parce que cette plus grande production exige une consommation plus forte d'eau par évaporation et par fixation dans les tissus, d'où diminution de l'eau de drainage.

7° Dans un sol sablo-argileux, type du limon hesbayen, la restitution régulière de la matière minérale seule, de l'azote seul et de la matière minérale associée à l'azote, enlevés par la récolte précédente, a augmenté, en moyenne, pour les dix années d'expériences, la production en substance organique respectivement de 27,50 et 93 p. 100, comparativement à la production obtenue sans restitution d'éléments nutritifs.

Il faut donc, à l'espèce betterave, le concours simultané de l'azote et des matières minérales fournies comme engrais, pour produire sur une surface donnée le maximum de substance organique et le maximum de sucre. Les sources naturelles d'azote sont insuffisantes pour assurer l'utilisation maxima des matières minérales restituées seules et, d'autre part, la désagrégation du sol ne rend pas assimilable assez de matières minérales pour permettre à la betterave de produire à l'aide de la restitution azotée seule, le maximum de matière organique.

8° Les grandes oscillations qu'éprouve le poids de la substance organique produite, variant d'une année à l'autre, pour la même case, du simple au quadruple, ne peuvent être causées que par ceux des facteurs de l'expérience qui ont changé : les conditions météorologiques.

9° Dans nos essais, la production de la substance organique, le minimum de la chaleur nécessaire à un développement normal étant fourni, s'est montrée plus en rapport avec la hauteur de pluie qu'avec les degrés de chaleur.

10° Toutes conditions égales et le minimum de calorique nécessaire à une végétation normale étant acquis, le quantum de sucre contenu dans la souche au moment de la récolte est en raison directe de l'intensité de l'éclairage qui a régné pendant toute la durée de la végétation.

11° Dans nos essais, la composition centésimale des cendres a varié sensiblement avec la composition du milieu et s'est modifiée d'une année à l'autre. Mais quelque considérable que soit cette variation, elle influe d'une manière peu appréciable sur la composition de la betterave, les matières minérales n'entrant que pour une faible part dans le poids total du végétal.

12° La quantité de certains éléments minéraux, acide phosphorique, chaux, magnésie, se trouvant pour une année donnée à peu près dans les mêmes proportions dans les betteraves de la case non fumée que dans celles des autres, il en résulte que ce végétal absorbe, pour un poids donné de substance organique produite, ces éléments dans une certaine proportion plus ou moins fixe, quelle qu'en soit la quantité mise à sa disposition.

Les éléments pour lesquels nous avons constaté cette particularité sont précisément ceux dont les combinaisons (phosphate, carbonate) possèdent un faible pouvoir de diffusion, tandis que nous avons vu s'élever sous l'influence des engrais les éléments (chlore, potassium, sodium) qui traversent facilement les membranes.

13° Dans les conditions de notre expérience, l'absorption a dû s'opérer principalement pour la chaux et la magnésie à l'état de phosphate et de carbonate, pour la potasse et la soude à l'état de chlorure, de sulfate et de nitrate.

14° Comme nous l'avons démontré à l'occasion d'autres recherches, la quantité d'eau rencontrée dans la souche de la betterave constitue un caractère de la variété.

Les conditions climatologiques, l'écartement des plantes lui infligent certaines variations, mais, les autres conditions égales, le régime alimentaire est sans influence sensible sur la richesse en eau.

Pour une variété donnée, la somme eau + sucre donne un chiffre à peu près fixe.

15° Le taux des principes immédiats, rapporté à la matière sèche, varie d'une année à l'autre dans des limites très écartées. L'albumine et la graisse varient du simple au double, les matières extractives montrent une proportion assez variable, la richesse en saccharose et en cellulose est plus constante.

16° De l'azote total contenu dans la souche de la betterave au mo-

ment de sa maturité, 58 p. 100 seulement appartiennent à l'« albumine pure » (albumine, caséine, etc.), 42 p. 100 aux substances azotées non albuminoïdes (amides, glucosides azotées).

17° L'application du nitrate de soude a exercé une légère dépression sur l'élaboration saccharine.

Sans pouvoir donner une explication qui soit plus qu'une hypothèse, on pourrait admettre que l'azote nitrique retarde l'écoulement du saccharose par les vaisseaux des feuilles vers le tissu vasculaire de la souche, comme l'application de l'azote nitrique retarde la disparition de la chlorophylle.

La diminution du titre en saccharose due à l'azote est compensée et au delà par l'action énergique de ce principe fertilisant sur la production en substance organique totale, et, en définitive, malgré l'abaissement de la richesse centésimale, le poids de sucre produit s'est élevé.

18° La somme totale des principes immédiats carbonés, tout en présentant certains écarts, a été presque la même dans les quatre cases de végétation. Il y a donc, quel que soit le régime alimentaire, production à peu près égale d'hydrates de carbone dont plus ou moins de saccharose suivant l'intensité de l'éclairage.

19° La cellulose constatée dans nos analyses, représentant la somme totale des parois cellulaires des tissus de la souche et le taux de cette cellulose ayant été reconnu peu variable, on doit admettre que, quelles que soient les influences extérieures qui agissent sur le développement et la composition de la betterave, le poids de la charpente cellulaire n'éprouve, pour une variété donnée, que peu de changement. Par contre, la proportion des divers principes ternaires et quaternaires et des principes minéraux dissous dans le suc cellulaire qui remplit cette charpente, varie sensiblement d'année à année et sous l'influence du milieu qui a produit la betterave.

RECHERCHES

SUR

L'ALIMENTATION AZOTÉE

DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

PAR

H. HELLRIEGEL et H. WILFARTH

EN COLLABORATION AVEC

H. Rœmer, R. Günter, H. Mœller et G. Vimmer

Sur une invitation qui m'en avait été faite, j'ai communiqué à la 29e section des naturalistes allemands, dans leur 59e réunion, un certain nombre d'essais culturaux, qui nous ont conduit à une nouvelle hypothèse au sujet de l'absorption de l'azote par les papilionacées.

Les expériences destinées à appuyer notre opinion ont pris fin dans le courant de l'année 1887 et nous pouvons aujourd'hui en publier les résultats. Si je suis forcé de m'étendre plus que je ne le désirerais moi-même, on voudra bien m'excuser, en considérant à combien d'objections notre travail doit répondre ; il nous faut donc être le plus explicite possible.

I

Ce travail, que nous étions certes loin d'avoir en vue tout d'abord, nous ne l'avons entrepris ni par l'ambition de faire du nouveau, ni par le besoin de voir des bactéries partout. Quelques observations, tout à fait dues au hasard, nous ayant frappés, nous ont seules poussés dans cette voie.

Votre rapporteur partit de cette idée, que certains composés chimiques sont indispensables à la nutrition des plantes et que chacun d'eux doit avoir un effet nutritif proportionnel à sa quantité, c'est-

à-dire qu'un poids déterminé de telle matière alimentaire doit toujours, dans des conditions favorables de végétation, rendre une plante apte à produire une certaine quantité de substance sèche. Aussi, dès l'année 1862, de concert avec MM. les docteurs Fittbogen, Frühling, Sorauer et Marx, avait-il institué à la Station agronomique de Dahme un certain nombre d'expériences qui avaient pour but de déterminer expérimentalement et de fixer, par des chiffres, l'action de chacune des combinaisons qui servent à alimenter quelques-unes des plantes agricoles les plus importantes.

Le résultat de nos efforts trompa notre attente et fut tout d'abord défavorable, au moins en ce qui concernait les combinaisons de l'azote contenues dans l'ensemble des substances nutritives.

L'étroite relation, sur laquelle nous comptions, entre la croissance et la quantité d'azote assimilable contenue avec le sol, se montra surtout très clairement et d'une façon précise dans les céréales. A la diminution de l'azote dans l'alimentation correspondit constamment un abaissement dans la récolte ; et avec une alimentation dépourvue d'azote, les plantes n'offrirent, dans aucun cas, de production notable, à partir du moment où le germe sortit de terre. Les expériences de contrôle concordèrent d'une façon suffisante avec les résultats de plusieurs années. Non seulement une quantité déterminée d'azote du sol a toujours fourni la même quantité de substance sèche dans la récolte, mais partout les quantités d'azote contenues dans les produits se montrèrent en proportion à peu près exacte avec celle qu'on avait ajoutée au sol.

Mais il n'en fut pas de même pour les papilionacées. Nous avions observé de bonne heure que les plantes de cette famille peuvent croître dans un sol originairement dépourvu d'azote. En 1862 et 1863 nous voyions du trèfle rouge dresser ses charmantes têtes fleuries dans notre sable, où il recevait comme nourriture une solution dont l'azote était absent, et l'année suivante, des pois s'y développaient fort bien et donnaient un produit normal. Néanmoins, dans d'autres années, les mêmes espèces, plantées exactement dans les mêmes conditions d'expérience, mouraient d'inanition, sans qu'on trouvât moyen de les sauver.

Dans les essais de contrôle, une plante se développait parfaitement,

tandis qu'une autre, sans aucune cause connue de maladie, se développait mal. Les mêmes additions, faites à leur alimentation, semblaient tantôt avoir une bonne influence, tantôt une action nulle, ou même être tout à fait nuisibles ; enfin dans le produit on ne trouvait aucune relation constante entre l'azote fourni à la plante et celui qu'elle contenait à la récolte.

Cette dernière observation, c'est-à-dire l'irrégularité constatée dans nos expériences, ou mieux l'absence complète de régularité dans cette allure des légumineuses, nous a déterminés à laisser de côté la publication de nos travaux, pour soumettre notre méthode à un examen approfondi.

Toute recherche faite sur les plantes agricoles donne lieu à des expériences synthétiques excessivement complexes. Ainsi se posait une question, qui s'est trouvée résolue, au terme de notre travail, à savoir s'il était possible, même approximativement, de déterminer ou tout au moins de soumettre à une règle les nombreux facteurs dont l'influence se fait sentir, et si nous pouvions attendre de nos expériences des résultats quantitatifs dans lesquels on pût avoir confiance.

Les recherches nombreuses que nous avons entreprises ensuite afin d'étudier l'influence qu'exerce sur le développement des plantes chacun des facteurs connus de la croissance, tels que la qualité de la semence, le volume du sol, sa constitution mécanique, l'époque de l'ensemencement, la lumière, la chaleur, l'air, enfin l'humidité du terrain, recherches qui nous ont occupés jusqu'en 1873, nous ont fait introduire dans notre méthode certaines améliorations, qui ne sont pas sans intérêt. Elles nous ont en outre conduits dans leur ensemble à des conclusions satisfaisantes [1]. (J'ai réuni les résultats de

1. Dans l'ouvrage intitulé : *Die Thomasschlacke,* von Prof. P. Wagner (Darmstadt, 1887), l'auteur s'exprime ainsi, p. 23 :

« Le professeur Hellriegel a apporté une heureuse modification à la méthode de « culture dans l'eau. Il ne fait pas végéter les racines des plantes dans une solution, « mais dans un sable quartzeux parfaitement purifié, qu'il arrose avec la solution nu- « tritive. Il a nommé cette méthode : Méthode de culture dans le sable. » Ce passage m'oblige à quelques mots de réponse.

Si je ne me trompe, la méthode de culture dans le sable a précédé celle de la culture dans l'eau. Dans tous les cas le sable quartzeux, c'est-à-dire le quartz pulvérisé

ce travail dans un volume intitulé : *Beiträge zu der naturwissenschaftlichen Grundlage des Ackerbaus.* — Vieweg und Sohn, Braunschweig.)

Puis vint une interruption, et les expériences antérieures ne purent être immédiatement reprises. Votre rapporteur quittait Dahme dans le courant de l'année 1874. Dans son nouveau cercle d'activité, n'ayant à sa disposition ni laboratoire ni établissement qui lui permît de continuer ses recherches, ce n'est qu'en 1883, après la création de la Station agronomique de Bernburg, qu'il put revenir à ses expériences et les pousser plus loin.

Les trois premières années, 1883-1885, furent employées à reprendre les recherches qui avaient été faites antérieurement sur l'orge, l'avoine et les pois, à peu près uniquement, en perfectionnant notre méthode et nous servant de moyens mieux appropriés à notre but. Ces expériences confirmèrent, sans en excepter un seul, les premiers résultats obtenus. L'absence constante de produit dans les céréales, quand le sol est dépourvu d'azote, se manifeste de nouveau et on peut constater, encore une fois, d'un côté la relation étroite qui existe entre leur croissance et la teneur du sol en nitrates, d'un autre côté, la faculté qu'ont les légumineuses de croître et d'assimiler des quantités importantes d'azote, même quand le sol ne contient pas de combinaisons azotées en quantité appréciable. En

---

avec addition d'une solution nutritive, a été utilisé dans les essais de culture par d'autres expérimentateurs, qui s'en sont servi avant nous et plus fréquemment. Il me suffit de rappeler les nombreuses et intéressantes expériences du prince de Salm-Horstmar. Aussi n'est-ce pas moi qui ai donné son nom à la méthode, j'ai seulement dit qu'on la désigne sous le nom de « Méthode de culture dans le sable ». Les travaux dont nous avons parlé plus haut nous avaient, il est vrai, inspiré l'idée de modifier la culture dans l'eau ; mais nous désirions uniquement perfectionner la méthode en général, sans considérer le milieu (sable de quartz, terre de champ, ou eau distillée), dans lequel on placerait les plantes. En transportant cette culture des chambres et des serres à l'air libre et en tenant compte avec soin de tous les facteurs, dont l'influence se fait sentir sur le développement des plantes pendant la végétation, nous comptions non seulement obtenir une croissance normale dans des conditions plus naturelles, mais encore arriver à des rendements approchant le plus possible de ceux de la culture, comme quantité. En nous conformant à cette règle, nous n'employons pas exclusivement de sable de quartz dans nos expériences, nous n'y avons recours que lorsque sa nature nous semble, mieux que tout autre milieu de culture, répondre au but que nous avons en vue.

même temps nous trouvions dans le développement des pois placés dans les mêmes conditions de végétation, les contradictions frappantes et les irrégularités que nous avions précédemment constatées.

Un essai, destiné à éclairer les phénomènes observés, en partant des hypothèses admises jusque-là sur la composition des légumineuses, au point de vue de l'absorption de l'azote, demeura infructueux.

Par contre, on ne pouvait méconnaître que la cause du développement irrégulier ou du non développement de nos pois n'était lié en rien à la nature du terrain de culture ni aux autres conditions de l'expérience, étant purement accidentelle. Rattachant ce fait à différentes observations, dont nous parlerons plus loin, la question s'imposa de décider si, en définitive, il n'y avait pas lieu de chercher là l'influence des microbes, dont l'importance dans l'économie de la nature se révèle d'une façon si frappante de tous côtés.

Les premiers essais tentés dans cette voie, en 1886, aboutirent si rapidement, que je ne vis aucune difficulté à en faire l'objet d'une courte communication à l'assemblée de Berlin dont j'ai parlé plus haut. La continuation de ces expériences en 1887 confirma plus largement encore ce résultat.

En exposant ici les observations relatives à mon sujet, je n'ai pas l'intention de remettre au jour les expériences faites autrefois à Dahme ; mais la marche qu'a suivie notre travail m'oblige, non seulement à publier *in extenso* les recherches faites dans les années 1883-1885, quoique originairement elles aient eu un autre but, mais encore à décrire en détail la méthode de culture dont nous nous sommes servis.

II

Pour obtenir des résultats auxquels on puisse accorder confiance, dans un essai de culture qui a pour but de résoudre une question de nutrition, il ne suffit pas de remplir un vase convenable de la matière destinée à servir de sol, et d'y ajouter ensuite une solution nutritive bien appropriée, puis l'ayant ensemencé, de placer ce vase sur un vitrage et de l'arroser de temps en temps quand les feuilles

se flétrissent ou que le sol paraît desséché. Non, il faut de plus, pour arriver à une démonstration :

1° Que la plante mise en observation, dans des conditions choisies, puisse se développer normalement jusqu'à la maturité ;

2° Qu'on soit certain d'obtenir toujours, dans des conditions connues, un rendement déterminé, qui puisse servir de règle et de point de départ à toutes les recherches ultérieures sur les récoltes ;

3° Il faut enfin que, si l'on modifie à dessein une des conditions et qu'une modification se manifeste à son tour dans la croissance de la plante observée, on soit certain que cet effet ne peut être attribué à aucune cause autre que l'altération de ce facteur de l'expérience.

Notre longue pratique de la culture des céréales nous a permis de répondre à ces exigences par le procédé suivant :

Nous nous sommes servis, comme milieu de culture, d'un sable fin quartzeux de formation tertiaire, provenant de l'Oberlausitz saxon. Ce sable, qui sert à de nombreux usages dans l'industrie, notamment à la fabrication du verre blanc, pouvait être obtenu en quantité suffisante, deux fois lavé et d'une composition régulière, en s'adressant à la compagnie qui a pour raison sociale : *Vereinigte Hohen-Bockaer Glassand-Gruben.* — Dresden, *H. Weichelt und C°.* Outre de petits morceaux de feldspath minéralisé, d'amphibole et de mica, ce sable contient encore des fragments anguleux de quartz de $0^{mm},2$ à $0^{mm},4$ de diamètre. En jetant un kilogramme de matière sur un tamis à mailles de $0^{mm},1$, on en faisait écouler une poussière fine qui ne pesait pas au delà de $0^{g},37$, et avec un tamis à mailles de $0^{mm},5$ on en séparait, en les retenant, $0^{g},82$ de grains de sable grossier.

Ce sable naturellement n'est pas chimiquement pur ; suivant l'analyse qu'en a faite le Dr Günther, on trouve comme résultat de trois extractions par coction avec de l'acide chlorhydrique concentré :

	POUR 100 gr. de sable.	POUR 1 kilogr.
	Gr.	Gr.
Acide sulfurique	0,0052	0,052
Chaux	0,0080	0,080
Magnésie	0,0030	0,030
Potasse	0,0014	0,014
Soude	0,0067	0,067
Acide phosphorique	Traces impondérables.	

La teneur en azote de diverses fournitures fut déterminée de la façon suivante, partie dès qu'elles nous parvinrent et partie après une année de séjour dans le laboratoire. Après avoir transformé l'azote en ammoniaque avec addition de sucre par le procédé de Kjeldahl, modifié par Wilfarth, la liqueur distillée, sans addition d'acide, fut titrée par l'acide sulfurique étendu, dont 1 cent. cube correspondait à 0^{mgr},68 d'azote, au moyen de l'acide rosolique. On obtint ainsi les résultats suivants :

	SABLE employé.	AZOTE TROUVÉ.	AZOTE par kilogr. de sable.	ANALYSTES.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	
Sable employé aux expériences de 1883-1887 et ayant reposé plus ou moins longtemps.	20	0,000034	0,0017	Dr Wilfarth.
	20	0,000068	0,0034	»
	40	0,000109	0,0027	Moeller.
	40	0,000136	0,0034	»
	40	0,000150	0,0037	»
	40	0,000218	0,0054	»
	50	0,000218	0,0044	»
	50	0,000218	0,0044	»
	50	0,000150	0,0030	»
	50	0,000197	0,0039	»
	40	0,000183	0,0046	Wimmer.
	40	0,000142	0,0036	»
	40	0,000122	0,0031	»
	40	0,000142	0,0036	»
	40	0,000129	0,0032	»
	40	0,000156	0,0039	»
Utilisé dans les expériences de 1888 et analysé dès son arrivée.	40	0,000020	0,0005	»
	40	0,000020	0,0005	»
	40	0,000027	0,0008	»
	40	0,000014	0,0004	»
	40	0,000014	0,0004	»

Comme vases nous avons employé des cylindres en verre blanc, percés d'un trou à leur fond et de grandeurs différentes, suivant l'espèce de plante soumise à l'expérience.

Des deux formes dont nous nous sommes le plus servi, la plus

petite, destinée aux céréales et aux pois, avait 24 cent. de hauteur, 15 cent. de diamètre à l'ouverture, 13 cent. à la base et contenait de 4 kilogr. à 4^{kg},600 de sable ; la plus grande, pour les lupins et autres plantes de mêmes dimensions, était haute de 40 cent. avec un diamètre de 15 cent. à l'ouverture, et de 14 cent. à la base, contenant 8 kilogr. de sable.

En remplissant le vase, pour suppléer à la porosité qui manque au verre, on mettait au fond tout d'abord une couche de 3 cent. environ de hauteur de fragments de quartz lavés, après qu'on les avait portés à la chaleur rouge. Ceux-ci servaient tout à la fois à drainer le vase, en permettant à l'air d'y circuler, et à égaliser le poids de chacun d'eux. Par-dessus ces fragments venaient une couche de ouate non glacée aussi épaisse que possible et enfin le sol de culture. Dans l'origine nous nous étions toujours contentés de mettre celui-ci simplement desséché dans le vase, puis de l'ensemencer et enfin de l'arroser avec la solution nutritive ; mais depuis l'année 1883, nous avons modifié le procédé en ce sens qu'avant l'ensemencement nous mouillons le sable avec la solution dans une capsule de porcelaine ou de terre émaillée et nous le pétrissons puis nous l'émiettons pour l'introduire dans le vase, dans cet état, en exerçant, de temps en temps, une légère pression.

Je puis affirmer que cette modification ne fut pas sans importance. L'expérience nous a appris que l'ancien procédé donnait à notre sable fin une très grande consistance, qui n'entravait pas le développement de certaines plantes mais qui, pour d'autres, ainsi que nos essais nous l'ont particulièrement démontré, était nuisible et parfois même absolument pernicieuse. Avec le nouveau procédé, au contraire, on arrive tout au moins à se rapprocher de cette structure grumeleuse particulière, qui est si favorable à la végétation dans les terres meubles et dont l'absence complète peut faire échouer nombre d'expériences.

Comme solution nutritive, nous avons employé un mélange de monophosphate de potasse, de chlorure de potassium, de sulfate de magnésie et de nitrate de chaux et nous avons adopté les proportions suivantes comme base pour toute la série de nos expériences :

	Pour 1 kilogr. de sable.
	—
Monophosphate de potasse.	0g,136
Chlorure de potassium	0 ,075
Sulfate de magnésie	0 ,060
Nitrate de chaux	0 ,492
Total.	0g,763

Nous indiquerons avec soin, en leur lieu, les changements qu'on aura apportés à ces proportions, dès qu'on les aura modifiées pour une année ou pour une série d'expériences.

Le choix de cette composition n'était pas une conception de fantaisie, car nous pouvions être guidés par de nombreux essais que nous avions déjà faits avec cette solution nutritive ainsi qu'avec beaucoup d'autres. Déjà la culture des céréales et des pois pendant une année nous avait appris et matériellement démontré les points suivants :

1° Cette alimentation permettait d'obtenir toujours, dans notre sable, une végétation saine et normale des céréales et, si on le désirait, de les amener à une croissance au moins égale à celle des plantes des champs.

2° Elle fournissait dans nos petits vases de 24 centim. de hauteur et de 15 à 13 centim. de largeur, remplis de 4 kilogr. de sable, des récoltes d'orge et d'avoine donnant jusqu'à 25 grammes de substance sèche, sans aller au delà, proportion qui pouvait dans ce cas être considérée comme le rendement maximum correspondant au volume du sol qui leur était offert.

3° On put constater la sensibilité de l'orge et de l'avoine, pour le moindre écart dans les proportions du mélange, mais relativement au nitrate de chaux seul. Ainsi, dès qu'on augmentait la dose de ce sel d'un tiers, en la portant par exemple à 0g,656, correspondant à 0g,112 d'azote par kilogr. de sable, la végétation paraissait souffrir et de même une diminution d'un tiers, c'est-à-dire une dose de 0g,328 correspondant à 0g,056 d'azote par kilogr. de sable, avait pour conséquence une diminution dans le rendement, indiquant ainsi une relation avec le défaut d'azote dans le sol.

4° Chacun des autres sels au contraire pouvait être donné dans

une proportion double, ou diminuée d'autant et même plus, sans que, dans le premier cas, on eût à constater un excès de végétation ou que dans le second la plante parût manquer de nourriture.

5° Les pois se comportaient tout autrement que les céréales vis-à-vis du nitrate de chaux ; car la partie non azotée du mélange cité plus haut, restant dans les proportions que nous avions fixées pour chacun des composants, a toujours pu suffire aux exigences de cette plante.

Comme il est facile de démontrer matériellement l'exactitude de tous ces points, en en exceptant le paragraphe 4, d'après les nouvelles expériences faites de 1883 à 1885, je puis négliger de revenir sur les recherches qui, datant de temps plus anciens, ont servi de base à celles-ci. Il me suffira de rappeler un seul exemple relatif au 4ᵉ point.

En 1868, de l'orge et de l'avoine furent cultivées dans les conditions suivantes :

Dimensions des vases de culture en verre : 24 centim. de hauteur et 15 à 13 centim. de diamètre.

Sable : 4 kilogr.

Humidité du sol : oscillant entre 15 et 10 p. 100 pendant la végétation.

Semence : orge, 28 à 36 milligr., soit en moyenne 32ᵐᵍ,3 par grain séché à l'air.

Avoine, 33 à 45 milligr., soit, en moyenne, 37,8 par grain séché à l'air.

Nombre de plantes dans chaque vase : orge, 12 ; avoine, 18.

Composition du mélange nutritif :

	a. Riche en sels dépourvus d'azote.		*b.* Pauvre en sels dépourvus d'azote.	
	Total.	par kilogr. de sable.	Total.	par kilogr. de sable.
Nitrate de chaux	1ᵍʳ,968	0ᵍʳ,492	1ᵍʳ,968	0ᵍʳ,492
Monophosphate de potasse	1 ,089	0 ,272	0 ,272	0 ,068
Chlorure de potassium	1 ,194	0 ,299	0 ,075	0 ,019
Sulfate de magnésie	0 ,384	0 ,096	0 ,096	0 ,024
Chlorure de sodium	0 ,468	0 ,117	—	—
Totaux	3ᵍʳ,135	0ᵍʳ,784	0ᵍʳ,443	0ᵍʳ,111

La récolte obtenue fut la suivante :

		ORGE (Hord. vulg.).		AVOINE (avoine de pays).	
		a. Mélange riche.	*b.* Mélange pauvre.	*a.* Mélange riche.	*b.* Mélange pauvre.
Tiges portant des épis		16	16	22	23
Longueur des tiges en centimètres		73 à 106	81 à 102	60 à 88	66 à 92
Graines bien développées		407	430	510	508
Rendement en substance sèche.	Graines	13gr,571	12gr,676	12gr,891	11gr,499
	Balles	2 ,015	1 ,984	1 ,643	1 ,392
	Paille	12 ,270	9 ,051	12 ,119	11 ,103
	Totaux	27gr,856	23gr,711	26gr,653	23gr,994
		P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Proportion centésimale relativement à la récolte.	Graines	48.7	53.5	48.3	47.9
	Balles	7.3	8.4	5.9	5.8
	Paille	44.0	38.1	45.8	46.3

Ici s'est révélée une certaine différence dans les rendements, suivant que les plantes avaient reçu, comme alimentation, le mélange *a* ou le mélange *b*, et il est à remarquer que les plantes nourries dans le premier furent remarquablement plus riches en cendres que celles qui avaient crû dans le mélange *b*. On peut conclure de là qu'une partie de l'augmentation dans la récolte est due à l'excédent des sels absorbés et qu'elle n'est pas sans avoir une importance fondamentale, puisque les analyses des cendres ont donné comme résultat pour le poids de la matière organique [1] produite en grammes :

ORGE.		AVOINE.	
a.	*b.*	*a.*	*b.*
25gr,682	22gr,717	24gr,398	23gr,123

1. Qu'on veuille bien remarquer, en passant, que l'exemple cité a, en outre, conduit à des résultats qui ne manquent point d'intérêt, à quelques autres points de vue. Ainsi il montre quelle alimentation hautement concentrée les plantes peuvent supporter sans en souffrir dans du sable comme milieu de culture.

Au commencement de l'expérience citée plus haut, la solution contenait 600 gr. d'eau par 4 kilogr. de sable, quantité qu'on laissa ensuite descendre à 400 gr. par évaporation spontanée, et la somme des sels donnés dans le mélange *a* pesait 5gr,1. Il en résulte que la concentration de la solution alimentaire donnée au début aux jeunes plantes était dans la proportion de 8.5 p. 100 et cela aussi longtemps que l'assimilation des sels fut faible, mais a pu ensuite monter à 12 p. 100.

En outre on voit là quelle quantité considérable de sels les plantes peuvent absor-

Ces différences sont assez faibles pour rendre acceptable la 5e proposition énoncée plus haut et il serait superflu d'exposer plus complètement les expériences dans lesquelles il nous est arrivé de réduire chacune des substances nutritives contenues dans le mélange *b*, et cela dans des proportions importantes, sans que se révélât aucune apparence de défaut de nutrition, et sans que le rendement s'abaissât d'une façon sérieuse.

Quand on se sert de petits vases pour les cultures expérimentales, on est forcé de se contenter d'un nombre de plantes très restreint pour son travail, et quand il s'agit de recherches sur la nutrition, l'observation commence dès que le grain, ayant épuisé sa réserve alimentaire, cherche à s'assimiler activement une nourriture prise en dehors de lui. Il est donc de la plus haute importance de ne se servir dans les expériences que de grains sains et bien conformés, dont le développement soit aussi égal que possible pour chacun des essais.

Cette considération nous a déterminés à employer pour l'ensemencement le procédé suivant bien qu'il soit peu minutieux.

Tout d'abord nous avons choisi, dans une grande quantité de semence, les grains qui, autant qu'on en pouvait juger extérieurement, étaient bons et d'un développement absolument normal. Puis, à l'aide

---

ber en surplus, sans que rien d'anormal se montre dans leur végétation et de plus il est clair que l'excédent s'accumule principalement dans la paille.

Dans l'exemple ci-dessus, voici les résultats fournis par l'orge :

		CENDRES BRUTES (simple résidu calciné).	CENDRES PURES (déduction faite du sable, du carbone et de l'acide carbonique).
		P. 100.	P. 100.
Mélange *a*.	Graines.	2.65	2.62
	Balles	9.46	8.50
	Paille.	13.24	12.32
Mélange *b*.	Graines.	1.86	1.80
	Balles	9.15	7.27
	Paille.	6.39	4.38

Dans son dernier rapport à la 5e *Wanderversammlung* (assemblée ambulante) des chimistes agricoles allemands à Hohenheim, le rapporteur a cité un nombre considérable de preuves à l'appui de ces résultats. (V. *die landwirthschaft. Versuchs-Stationen,* les Stations de recherches agricoles, T. XI, p. 136 et suivantes.)

de la balance, on rejeta les grains trop légers ou trop lourds, de façon que ceux qu'on employait fussent d'un poids moyen presque uniforme. Ces grains furent mis en germination dans du papier à filtrer et, quand le germe fut sorti, on examina de nouveau la vigueur et l'état normal de la radicule, pour extraire ceux des grains qui présentaient une énergie égale dans la germination.

Enfin, prenant, dans cette élite, la semence dont nous avions besoin, on la planta en donnant à chaque vase un nombre de grains double de celui des plantes qui devaient y croître. L'excédent, dès la toute première jeunesse, fut ensuite enlevé, de façon qu'en écartant les petites plantes qui, ayant souffert dans leur développement, étaient sorties à une place défectueuse ou montraient des signes de faiblesse, il ne restât cette fois que les plantes qu'on voulait observer. Nous avons obtenu presque toujours ainsi de mettre en expérience, quel que fût le nombre de vases, des plantes saines et généralement très propres aux observations.

Nous ferons remarquer que, dans les cas où cela nous a paru nécessaire, nous avons déterminé directement le poids et la teneur en azote des jeunes plants supprimés comme ceux des grains rejetés, mais, en général, nous avons cru pouvoir admettre sans grande erreur, que le gain et la perte éventuels en azote se compensent. Il n'est pas en effet difficile pour les plantes dont on s'est longtemps occupé, de connaître avec quelque certitude le moment où les moyens d'alimentation du germe touchent à leur fin et où commence une assimilation active. L'exemple suivant, donné en passant, donnera la mesure de l'erreur qu'on commet par ce procédé.

En 1883, dans nos expériences sur l'orge et sur l'avoine, chaque vase reçut 14 grains à l'ensemencement et sur les 14 plantes qui levèrent 7 furent arrachées et mises au rebut.

Pour l'ensemencement on avait employé :

Dans l'orge, des grains pesant de 38 à 40 milligr., soit en moyenne $41^{mg},26$, avec une teneur d'eau de 12.32 p. 100 et en azote de 1.54 p. 100.

Dans l'avoine, des grains pesant de 41 à 47 milligr., soit en moyenne $43^{mg},76$, avec une teneur en eau de 12.25 p. 100 et en azote de 1.74 p. 100.

La semence apportait ainsi, dans chaque vase de culture, avec ses 7 grains :

Orge	0^{gr},2532 de substance sèche et		0^{gr},0044 d'azote.	
Avoine.	0 ,2688	—	0 ,0053	—

Chaque groupe de 7 plantes arrachées dans 10 vases qui avaient reçu des solutions azotées diverses, y compris les débris des grains attachés à la racine, donna, pour 100 parties en poids, les oscillations suivantes, dans la substance sèche :

	ORGE.	AVOINE.
	Gr.	Gr.
	0,1937	0,3163
	0,1959	0,3109
	0,2063	0,2918
	0,2040	0,3170
	0,1897	0,3110
	0,2042	0,2977
	0,2027	0,2755
	0,1958	0,3127
	0,2190	0,2700
	0,2201	0,3038
En moyenne. . .	0,2031	0,3011

Une détermination de l'azote contenu dans l'ensemble des plantes arrachées, dans ces 10 vases, donne :

Orge.	2.11 p. 100 d'azote dans la substance sèche.		
Avoine.	2.23	—	—

Ainsi chacun des vases, par l'extraction des plantes, s'était vu enlever :

Orge.

En moyenne . . .	0^{gr},2031 de substance sèche et		0^{gr},0043 d'azote.	
Maximum	0 ,2201	—	0 ,0046	—
Minimum	0 ,1897	—	0 ,0040	—

Avoine.

En moyenne . . .	0^{gr},3011 de substance sèche et		0^{gr},0067 d'azote.	
Maximum	0 ,3170	—	0 ,0071	—
Minimum.	0 ,2700	—	0 ,0060	—

Et les différences, entre l'apport fait par la semence et la perte résultant de l'extraction, montaient à :

Orge.

En moyenne. . .	+ 0gr,0501	de substance sèche et	— 0gr,0001	d'azote.
Maximum	+ 0 ,0635	—	+ 0 ,0002	—
Minimum	+ 0 ,0331	—	— 0 ,0004	—

Avoine.

En moyenne. . .	— 0gr,0323	de substance sèche et	+ 0gr,0014	d'azote.
Maximum. . . .	— 0 ,0482	—	+ 0 ,0018	—
Minimum. . . .	— 0 ,0012	—	+ 0 ,0007	—

Pour offrir à la plante, pendant le temps de la végétation, les conditions extérieures qui se rapprochent le plus, sous tous les rapports, de la nature et qui soient le plus semblables possible pour chaque expérience, on a trouvé qu'il fallait suivre les règles suivantes :

Comme emplacement, pour les plantes en végétation, on choisit un point élevé dans le grand jardin d'un demi-hectare de la station d'essais. Ce jardin qui touche immédiatement à la rive gauche de la Saale est entouré d'autres jardins et ne contient aucun arbre pouvant donner de l'ombre, de telle sorte la lumière, le soleil, un air pur et vif baignent les plantes de tous côtés sans obstacles.

Les plantes crurent ainsi à l'air libre dans des conditions généralement normales. Dans la façon dont on plaça les vases les uns à côté des autres, on eut soin, en outre, qu'aucun d'eux, autant que possible, ne fût une cause de gêne pour ses voisins.

Seulement pour les protéger contre la pluie et l'orage, on transportait les plantes dans un abri, qui limitait, au Nord, l'emplacement choisi pour la végétation. Cet abri, fort bien approprié à son but, était en fer et vitres et avait 25 mètres de longueur, 7m,50 de profondeur avec 3m,25 de hauteur jusqu'au toit, ce qui donnait 5m,50 au-dessous de la faîtière, offrant un emplacement tout à la fois spacieux, bien éclairé et très aéré.

Comme protection contre une chaleur anormale, on avait un autre emplacement ombragé touchant à la serre, ouvert sur les côtés et simplement couvert de carton. Mais les plantes n'y séjournaient que pendant les quelques heures les plus chaudes du milieu du jour

et en plein été. Dans certaines années, il arriva même qu'on ne l'utilisa pas.

Pour rendre facile le transport des plantes d'une place à l'autre, les annexes, que nous venons de décrire, étaient reliées entre elles par des rails, sur lesquels glissaient facilement des caisses, pourvues de roues d'une hauteur de 70 centimètres et sur lesquelles au besoin on étendait un filet fait de grosse ficelle, comme protection contre les oiseaux. Les vases de culture étaient, dès le début, placés sur ces caisses et pouvaient ainsi être mis en place convenable rapidement et sans un ébranlement qui aurait pu leur être dommageable.

On ne se servait pour l'arrosage que d'eau distillée, dont on avait soin de rejeter le premier tiers obtenu, comme contenant peut-être quelques traces d'ammoniaque, et qu'on réservait à d'autres usages. C'est au moyen de cette eau qu'on entretenait une humidité constamment contrôlée, de façon que chaque vase fût maintenu à un degré maximum déterminé, dès le début de l'opération (de 15 à 17 1/2 p. 100 dans les petits vases et 12 p. 100 dans les grands). Puis on suivait avec soin, au moyen de pesées quotidiennes, la perte par évaporation de l'eau employée et aussitôt que l'humidité descendait dans un vase à un minimum déterminé (régulièrement 10 p. 100), on le ramenait au degré qu'il avait à l'origine.

Les règles, adoptées par nous au sujet de l'humidité du terrain, n'étaient pas le résultat de décision prise au hasard, mais, ainsi que pour la solution nutritive, elles se fondaient sur d'anciennes expériences.

De nombreuses observations nous avaient en effet appris :

1° Que, dans notre sable, une humidité variant de 18 p. 100 à 8 p. 100 pouvait, pleinement et, dans tous les cas, satisfaire aux exigences des plantes ;

2° Qu'on n'était pas certain d'écarter tout danger pour le développement normal, dès que le degré d'humidité du sol de culture montait à 20 p. 100 et, d'un autre côté, que si on le laissait descendre à 7 p. 100, la restitution de l'eau dans la plante ne pouvait être assez prompte ni assez abondante, pour qu'il n'en résultât pas un abaissement dans le rendement ;

3° Enfin, que jusqu'à 20 p. 100, l'eau, dans notre sable, pouvait

être retenue uniformément et de façon constante dans une couche de $0^{m},20$ d'épaisseur, mais que si cette épaisseur s'élevait à $0^{m},40$, l'eau d'arrosage au-dessus de 12 p. 100 n'était plus constamment et uniformément répartie dans toute la hauteur, séjournant pendant des semaines dans les couches profondes, où elle était descendue et les saturant au point d'en faire un marais.

(J'ai publié les documents relatifs à ce sujet dans *Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus,* p. 545 et s. et p. 598 et s.)

Voilà les observations qui nous avaient guidés dans le choix des règles mentionnées plus haut, en ce qui regarde l'humidité.

Ce sont elles qui nous ont fait prendre la limite la plus large pour nos petits vases, puisqu'il était expérimentalement démontré que les plantes, à leur point de plus haut développement, consommaient en 24 heures, et même en un temps plus court, des quantités d'eau représentant un degré d'humidité variant entre 15, 17 1/2 et 10 p. 100.

Ce sont elles aussi qui nous ont conduits à restreindre l'arrosage dans nos grands vases. Certaines espèces de plantes, qui se développent très lentement dans leur jeunesse, comme le lupin et la serradella ne demandent, dans les premières semaines, qu'un degré d'humidité variant de 8 à 10 p. 100 et c'était ce que nous leur donnions. Puis, quand les plantes ayant un plus grand développement étaient soumises à une évaporation plus active, nous faisions monter l'humidité jusqu'à 12 p. 100 et même plus encore, suivant leurs exigences.

Cette méthode de culture — une longue expérience nous l'a appris — non seulement assure une végétation absolument normale des plantes mises en observation, mais permet en outre d'accorder confiance à la valeur quantitative des rendements obtenus. Nous concéderons cependant volontiers que ceux-ci ne peuvent jamais atteindre le degré de rigueur et de certitude des résultats quantitatifs que donnent les bonnes méthodes d'analyse chimique.

Voici maintenant les résultats que nous avons obtenus à l'aide de cette méthode.

III

Expériences faites de 1883 a 1885

a) **Orge.**

1883

Données générales.

Vases de culture : $0^m,24$ de hauteur ; $0^m,15$ à $0^m,13$ de diamètre.

Sable dans chaque vase : $4^{kg},600$.

Humidité du sol pendant la végétation, variant de 17 1/2 à 8 3/4 p. 100 (70 à 35 p. 100 de la faculté d'absorption du sable).

Variété mise en observation : *Hordeum distichum* (orge Chevalier).

Grains : poids spécifique de 1,244 à 1,269 ; poids absolu variant de 38 à 44 milligr. séchés à l'air ; poids moyen des grains $41^{mg},26$, contenant 12,32 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 seront enlevés après la sortie du germe et 7 seront laissés jusqu'à un complet développement.

Période de végétation : les grains ont été déposés le 20 avril dans l'eau distillée destinée à la germination et mis en place le 23 avril avec les radicules sorties.

Levée de la semence : 27 — 29 avril.

Récolte : 1er août.

Alimentation : Chaque vase sans exception a reçu tout d'abord 4 grammes de carbonate de chaux, distribué également et qui y a été incorporé en le mélangeant avec soin dans la masse du sable sec, puis on leur a donné, en solution :

Monophosphate de potasse.	$0^{gr},5444$
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

Enfin, ils ont reçu, mêlé à la solution précédente et, en même temps qu'elle, les quantités suivantes de nitrate de chaux :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
	Gr.	Gr.
1	1,968	0,336
2	1,312	0,224
3	1,312	0,224
4	1,312	0,224
5	0,984	0,168
6	0,656	0,112
7	0,656	0,112
8	0,656	0,112
9	0,328	0,056
10	0,328	0,056
11	0,328	0,056
12	0,164	0,028
13	0,000	0,000
14	0,000	0,000

Résultats.

Au début de l'expérience, nos jeunes plantes ne laissèrent rien à désirer, sous le rapport de la constitution et de la croissance, et, pendant la première semaine de végétation, elles se maintinrent absolument égales dans les 14 vases.

Le 4 mai, une observation attentive révélait, chez les jeunes sujets des vases n°s 13 et 14, un retard dans la végétation, qui devint rapidement plus évident, chaque jour. Cet état indiquait clairement le point, où, la réserve alimentaire du grain étant épuisée en entier ou à peu près, la faim commençait à se faire sentir dans les milieux complètement dépourvus d'azote.

Quant aux autres plantes, leur croissance ne montrait encore aucune différence, à ce moment, ni même pendant les quelques jours suivants.

Au 9 mai seulement, un temps d'arrêt se laissa voir dans le vase n° 12; quelques jours plus tard, on le constatait dans les n°s 9, 10, 11, et enfin, à de courts intervalles, ensuite dans tous les autres vases, à l'exception du n° 1. Aussi, dans la 4e semaine de mai, pouvait-on déjà voir clairement l'influence des quantités d'azote données

à chaque vase, influence qui continua à s'accentuer mieux encore chaque jour.

Cette influence se montra non seulement dans la vigueur et la hauteur des plantes, mais aussi dans le développement des hampes; ainsi chacune d'elles avait en moyenne :

N° 1.	(336 milligr. d'azote),	5 talles, dont 2	portèrent des épis.
N°s 2, 3, 4 . .	(224 —),	4 — 1	—
N° 5.	(168 —),	3-4 — 1	—
N°s 6, 7, 8 . .	(112 —),	2-3 talles	Toutes celles-ci furent absorbées au profit de la tige mère, avant d'arriver à l'épiage.
N°s 9, 10, 11 .	(56 —),	2 —	
N° 12	(28 —),	1 —	

Dans les vases n°s 13 et 14, aucune plante n'essaya même de donner de talles.

Le défaut de nutrition ou l'état d'inanition, au cas particulier le besoin absolu d'azote, se révèle d'une façon caractéristique quand la plante a absorbé la réserve alimentaire du grain de semence, c'est-à-dire au moment où elle est en voie de former sa troisième feuille. Arrivée à ce point, elle ne meurt pas et continue à végéter presque aussi longtemps qu'une plante normalement nourrie, tous les organes jusqu'au fruit se développent ; mais restés de taille chétive, ils ne donnent pas un véritable produit ; car chacun d'eux, dès sa naissance, s'accroît aux dépens de la plus vieille feuille, qui à ce moment se dessèche épuisée.

Le manque relatif d'azote n'amène le desséchement et la consomption des feuilles les plus anciennes, chez les plantes qui ont reçu une nourriture azotée suffisante, que plus tard, dans la période de formation du grain. Quant à celles auxquelles on a donné de l'azote en excès, cela n'arrive pas ; elles produisent encore de nouvelles tiges, quand les premiers épis sont déjà jaunes ; leurs différentes parties ne parviennent pas à maturité en même temps. Quelquefois elles ne mûrissent pas du tout.

La récolte a présenté les poids, dimension et composition indiqués dans le tableau suivant :

TABLEAU.

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des tiges stériles.	LONGUEUR des 7 tiges mères sans égard aux barbes.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des grains.
	Gr.			Mètres.		
1	0,336	21	23	0,68 — 0,76	470	306
2	0,224	15	24	0,67 — 0,82	311	263
3	0,224	13	20	0,67 — 0,78	290	232
4	0,224	14	21	0,73 — 0,84	314	260
5	0,168	12	19	0,66 — 0,82	241	194
6[1]	0,112	7	15	0,36 — 0,74[1]	124[1]	101[1]
7	0,112	7	18	0,54 — 0,74	147	124
8	0,112	8	16	0,42 — 0,78	152	126
9	0,056	7	14	0,43 — 0,56	108	78
10	0,056	7	14	0,45 — 0,52	88	77
11	0,056	7	14	0,25 — 0,54	89	70
12	0,028	7	7	0,27 — 0,42	51	43
13	»	6	1	0,13 — 0,18	10	8
14	»	7	0	0,11 — 0,18	11	3

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Graines.	Balles.	Paille.	Total.	PROPORTION centésimale de la récolte totale. Grains.	Balles.	Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
1	0,336	10,3866	3,1408	15,8156	29,3430	35.4	10.7	53.9	33,9
2	0,224	8,1042	1,7680	11,2015	21,0737	38.5	8.4	53.1	30,8
3	0,224	7,4952	1,8102	11,1545	20,4599	36.6	8.9	54.5	32,3
4	0,224	8,7280	1,8880	11,1102	21,7262	40.2	8.7	51.1	33,6
5	0,168	6,1686	1,2770	8,9426	16,3882	37.6	7.8	54.6	31,8
6[1]	0,112	3,2135[1]	0,7248[1]	5,5393	9,4776[1]	33.9[1]	7.7[1]	58.4[1]	31,8
7	0,112	4,0682	0,8485	5,8880	10,8047	37.7	7.9	54.4	32,8
8	0,112	4,1512	0,8599	5,7905	10,8016	38.4	8.0	53.6	32,9
9	0,056	2,1726	0,4051	3,0165	5,5942	38.9	7.2	53.9	27,9
10	0,056	2,0371	0,4691	3,1980	5,7042	35.7	8.2	51.6	26,5
11	0,056	1,8306	0,4405	3,0512	5,3223	34.4	8.3	57.3	26,1
12	0,028	1,0418	0,2376	1,7158	2,9952	34.8	7.9	57.3	24,2
13	»	0,1174	0,3906		0,5080	23.1	76.9		14,7
14	»	0,0444	0,3702		0,4146	10.7	89,3		14,8

1. Dans le vase n° 6, un épi avait été mangé par les moineaux. (Les filets de protection mentionnés plus haut n'étaient pas encore en usage, en 1883.)

1884

Conditions générales.

Vases de culture : $0^m,24$ de hauteur ; $0^m,15$ et $0^m,13$ de diamètre.

Sable dans chaque vase : $4^{kg},600$.

Humidité du sol pendant la végétation, variant de 15 à 10 p. 100 (60 à 40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable).

Variété mise en observation : *Hordeum distichum* (orge Chevalier).

Semence : Poids absolu variant de 31 à 36 milligr. par grain séché à l'air ; en moyenne $33^{mgr},84$.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 furent enlevés après la sortie de terre.

Période de végétation : les grains gonflés ayant leurs radicules sorties ont été plantés le 8 mai.

Récolte du 14 août au 4 septembre.

Alimentation : il a été donné, par vase, sans addition de carbonate de chaux :

Monophosphate de potasse.	$0^{gr},5444$
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

Puis enfin les quantités suivantes de nitrate de chaux :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
	Gr.	Gr.
15	2,624	0,448
16	2,624	0,448
17	1,968	0,336
18	1,968	0,336
19	1,312	0,224
20	1,312	0,224
21	0,656	9,112
22	0,656	0,112
23	0,328	0,056
24	0,328	0,056

Résultats.

Pour cette année, notre semence fut d'assez mauvaise qualité, ce qu'indiquait déjà le poids absolu des grains isolés et ce que vinrent confirmer ensuite les différences frappantes qui se présentèrent dans l'énergie de la germination. Aussi la levée des plantes fut moins bonne, leur état général beaucoup plus inégal, dès le début de l'expérience, qu'ils ne l'avaient été dans nos précédents essais et le développement ultérieur, en son entier, fut moins satisfaisant.

Néanmoins, cette fois encore, l'influence des doses variables d'azote se précisa d'une façon très claire.

L'excès d'azote, donné à dessein aux n°s 15 et 16, se montra étonnamment nuisible. La paille des plantes y fut fortement attaquée par la rouille, les grains en approchant de la maturité, au lieu de la teinte jaune habituelle, prirent une fausse couleur bleuâtre et la maturité complète fut surtout absolument anormale. Depuis longtemps, les grains des plus vieux épis, ayant perdu leur chlorophylle, avaient commencé à se dessécher, et, malgré cela, les barbes conservaient leur apparence verte ; les plus jeunes épis et les tiges poussées les dernières ne mûrirent pas, quoique la récolte de ces deux numéros eût été, pour cette seule raison, faite trois semaines plus tard que celle des autres vases. Le n° 16 souffrit beaucoup plus que le n° 15 de tous ces accidents.

L'ensemble des résultats est résumé dans le tableau suivant :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des tiges stériles.	LONGUEUR des 7 tiges mères sans les barbes.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des grains.
	Gr.			Mètres.		
15	0,448	25	25	0,65 — 0,74	519	270
16	0,448	18	24	0,61 — 0,72	409	212
17	0,336	20	19	0,72 — 0,80	425	289
18	0,336	19	17	0,74 — 0,96	402	276
19 [1]	0,224	13 [1]	23	0,76 — 0,84	265	225
20	0,224	17	24	0,71 — 0,82	314	240
21	0,112	8	18	0,57 — 0,82	137	113
22	0,112	7	15	0,58 — 0,74	137	99
23	0,056	7	13	0,39 — 0,57	94	74
24 [2]	0,056	7	10	0,40 — 0,51	82	66

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	Balles.	Paille.	Total.	PROPORTION centésimale de la récolte totale. Grains.	Balles.	Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
15	0,448	9,896	3,636	17,503	31,035	31.9	11.7	56.4	36,7
16	0,448	6,478	2,474	15,141	24,093	26.9	10.3	62.8	30,6
17	0,336	9,875	2,634	14,308	26,817	36.8	9.8	53.4	34,2
18	0,336	9,638	2,577	14,357	26,572	36.3	9.7	54.0	34,9
19 [1]	0,224	6,254	1,590	10,612	18,456 [1]	33.9	8.6	57.5	27,8 [1]
20	0,224	7,558	1,661	11,177	20,396	37.1	8.1	54.8	31,5
21	0,112	3,679	0,723	5,808	10,210	36.0	7.1	56.9	32,6
22	0,112	3,556	0,844	5,693	10,093	35.2	8.4	56.4	35,9
23	0,056	2,001	0,467	3,160	5,628	35.6	8.3	56.1	27,0
24 [2]	0,056	1,580	0,373	2,728	4,681 [2]	33.7	8.0	58.3	23,9 [2]

1. Dans le vase n° 19, une plante fut détruite par la rouille.
2. Dans le vase n° 24, une plante s'est flétrie.

1885

Données générales.

Vases de culture : $0^m,24$ de hauteur ; $0^m,15$ et $0^m,13$ de diamètre.

Sable par vase : $4^{kg},600$.

Humidité du sol : 15 à 10 p. 100, c'est-à-dire 60 à 40 p. 100 du pouvoir absorbant du sable.

Variété mise en observation : *Hordeum distichum* (orge Chevalier).

Semence : poids spécifique de 1,244 à 1,269 ; poids absolu de 32 à 38 milligr., soit en moyenne par grain sec 34^{mg},4.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 enlevés, après germination.

Période de végétation : le 20 avril, les semences sont déposées dans l'eau distillée ; le 22 et le 23 avril, les radicules sorties, les grains sont mis en place dans le sable ; la levée a lieu le 27 et le 28 avril ; l'enlèvement des plants de rebut se fait le 2 mai. Récolte le 25 juillet.

Alimentation : on a donné par vase :

Monophosphate de potasse	0^{gr},5444
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

e t, de plus en nitrate :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.	CARBONATE DE CHAUX mêlé d'avance au sol [1]. Quantité.	CARBONATE DE CHAUX mêlé d'avance au sol [1]. Proportionnellement au sable.
	Gr.	Gr.	Gr.	P. 100.
25	1,312	0,224	—	—
26	1,312	0,224	—	—
27	0,656	0,112	—	—
28	0,656	0,112	—	—
29	0,000	0,000	—	—
30	0,000	0,000	—	—
31	0,656	0,112	1,15	0,025
32	0,656	0,112	1,15	0,025
33	0,656	0,112	2,30	0,050
34	0,656	0,112	23,00	0,500

1. En 1884, la végétation de toute notre orge d'essai avait été moins belle qu'en 1883. On se l'expliquait facilement, comme on l'a vu plus haut, par la mauvaise qualité de la semence. Mais en 1883, avant de donner au sol la solution nutritive, nous l'avions additionné de carbonate de chaux, ce qui n'avait pas été fait en 1884. Comme on pouvait être porté à attacher à ce point une importance plus grande que celle que lui donnaient nos recherches antérieures, nous avons saisi l'occasion d'introduire incidemment dans les essais faits dans les vases n°s 31, 32, 33 et 34, des doses variables de carbonate de chaux.

Résultats.

Dès le début de l'expérience, la levée et l'état des jeunes plantes furent très bons et absolument uniformes. La végétation très satisfaisante ne présenta jusqu'à la fin aucun trouble.

Récoltes.

NUMÉROS des vases.	DOSES d'azote.	DOSES de carbonate de chaux.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des tiges stériles.	LONGUEUR des 7 tiges mûres sans les barbes.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des graines.
	Gr.	Gr.			M. M.		
25	0,224	—	12	21	0,69 — 0,79	304	247
26	0,224	—	14	19	0,73 — 0,84	269	231
27	0,112	—	8	12	0,61 — 0,69	153	100
28	0,112	—	8	18	0,60 — 0,69	151	99
29	—	—	7	—	0,16 — 0,22	18	3
30	—	—	6	—	0,15 — 0,18	15	4
31	0,112	1,115	11	16	0,49 — 0,67	187	134
32	0,112	1,115	9	22	0,56 — 0,69	165	132
33	0,112	2,30	12	14	0,49 — 0,66	198	137
34	0,112	23,00	7	10	0,70 — 0,76	147	134

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	Balles.	Paille.	Total.	PROPORTION centésimale de la récolte totale. Grains.	Balles.	Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
25	0,224	8,744	1,452	11,361	21,560	40.6	6.7	52.7	35.4
26	0,224	9,954	1,876	11,554	23,384	42.6	8.0	49.4	43.1
27	0,112	3,817	0,867	6,546	11,230	34.0	7.7	58.3	38.2
28	0,112	3,479	0,797	6,651	10,927	31.8	7.3	60.9	35.1
29	—	0,059	0,057	0,534	0,650	9.1	8.8	82.1	19.7
30	—	0,047	0,035	0,462	0,544	8.6	6.5	84.9	11.8
31	0,112	3,936	0,740	6,343	11,019	35.7	6.7	57.6	29.4
32	0,112	4,070	0,814	6,367	11,251	36.2	7.2	56.6	30.8
33	0,112	3,738	0,788	6,710	11,236	33.3	7.0	59.7	27.3
34	0,112	3,721	0,926	5,672	10,319	36.1	8.9	55.0	27.8

b) **Avoine.**

1883

Conditions générales.

Ces conditions sont exactement les mêmes que celles qui ont été données pour l'orge en 1883, relativement à la dimension des vases, à la quantité de sable et à l'humidité du sol.

Variété mise en observation : *Avena sativa* (avoine ordinaire de pays).

Semence : poids spécifique de 1,060 à 1,094 ; poids absolu variant de 41 à 47 milligr. séché à l'air ; en moyenne $43^{mg},76$ par grain avec 12.25 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains dont 7 furent enlevés et 7 laissés jusqu'à complet développement.

Période de végétation : les grains ont été déposés pour germer dans l'eau distillée le 16 avril ; le 20 avril ils ont été mis en place avec les radicules sorties.

Levée : du 26 au 27 avril.

Récolte : le 1er août.

Alimentation pour chaque vase :

Carbonate de chaux, mélangé à l'état sec.	$4^{gr},0000$
Monophosphate de potasse.	0 ,5444
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

et de plus les quantités suivantes de nitrate :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
—	— Gr.	— Gr.
35	1,968	0,336
36	1,312	0,224
37	1,312	0,224
38	0,984	0,168
39	0,656	0,112
40	0,656	0,112
41	0,656	0,112
42	0,328	0,056
43	0,328	0,056
44	0,328	0,056
45	0,000	0,000
46	0,000	0,000

Résultats.

Les plantes levèrent bien et l'état des jeunes sujets était parfaitement uniforme à la fin de la première semaine de végétation dans la série tout entière.

Dès le 4 mai, on put remarquer, dans les n°s 45 et 46, qui n'avaient pas reçu d'azote dans leur solution, un retard de végétation, qui s'accentua plus nettement de jour en jour. Dès le 10 mai, la même observation fut faite sur les n°s 42, 43 et 44, dont la solution nutritive n'avait été additionnée que de 56 milligr. d'azote. Enfin, dans la seconde moitié de mai, les différentes teneurs en azote de la solution se manifestèrent très fidèlement par l'état des plantes pour toute la série.

Dans le courant de la végétation qui suivit, un trouble particulier se manifesta dans le vase n° 39. Les plantes y devinrent malades et l'une d'entre elles mourut tout à fait rabougrie, sans avoir pu former de tige ; aussi le n° 39 fut-il retiré de l'expérience.

Voici le relevé des résultats obtenus :

TABLEAU.

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des tiges stériles.	LONGUEUR des 7 tiges mûres.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des graines[1].
	Gr.			M. — M.		
35	0,336	14	17	0,83 — 1,00	372	677
36	0,224	12	16	0,77 — 0,95	250	450
37	0,224	9	13	0,85 — 1,00	245	456
38	0,168	8	18	0,81 — 0,91	168	310
39	—	—	—	— —	—	—
40	0,112	7	17	0,65 — 0,83	106	201
41	0,112	7	14	0,69 — 0,80	113	209
42	0,056	7	7	0,54 — 0,61	57	102
43	0,056	7	11	0,42 — 0,65	57	96
44	0,056	7	7	0,43 — 0,60	54	91
45	0,000	6	1	0,06 — 0,20	6	5
46	0,000	6	1	0,10 — 0,20	8	7

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	Balles.	Paille.	Total.	PROPORTION centésimale de la récolte totale. Grains.	Balles.	Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
35	0,336	12,2336	1,1314	16,8100	30,1750	40.6	3.7	55.7	18,1[1]
36	0,224	8,3769	0,8193	12,0770	21,2732	39.4	3.8	56.8	18,6
37	0,224	8,6760	0,7409	12,0240	21,4409	40.5	3.4	56.1	19,0
38	0,168	6,0862	0,5622	9,3490	15,9974	38.1	3.5	58.4	19,6
39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	0,112	4,1133	0,3381	6,5300	10,9814	37.4	3.1	59.5	20,5
41	0,112	4,0286	0,3267	6,5860	10,9413	36.8	3.0	60.2	19,3
42	0,056	2,0786	0,1638	3,6600	5,9024	35.2	2.8	62.0	20,4
43	0,056	2,0253	0,1697	3,6560	5,8510	34.6	2.9	62.5	21,1
44	0,056	1,6943	0,1464	3,4460	5,2867	32.1	2.7	65.2	18,6
45	0,000	0,0417	0,3188 (balles et paille)		0,3605	11.6	88,4 (balles et paille)		8,3
46	0,000	0,0648	0,3543 (balles et paille)		0,4191	15.5	84,5 (balles et paille)		9,2

1. Pour prévenir tout malentendu ici, il faut observer que tous les grains d'avoine récoltés avaient un développement normal. Si le poids moyen indiqué pour chacun d'eux paraît très faible et n'atteint pas même la moitié du poids des grains de semence, qu'on réfléchisse que tous les grains provenant de la récolte, les plus gros dus à la première floraison comme les plus petits dus à la 2e et à la 3e, aussi bien que les grains même mal formés, en un mot tous ceux qui se trouvaient dans la balle, ont été comptés ensemble et ont fait masse pour la moyenne, tandis que pour l'ensemencement on ne s'était servi que d'une belle semence fournie par la première floraison.

1884.

Conditions générales.

Elles furent semblables à celles de l'expérience faite sur l'orge en 1884, pour la dimension des vases, la quantité de sable et le degré d'humidité du sol de culture.

Variété mise à l'étude : avoine de pays.

Semence : poids absolu variant de 35 à 43 milligr. ; en moyenne par grain séché à l'air, 39^{mg},91 avec 12.4 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 ont été enlevés et 7 sont restés.

Période de végétation : semences mises dans l'eau distillée, pour y germer, le 5 mai ; plantées le 8 mai.

La levée s'est faite du 13 au 14 mai.

La récolte a eu lieu le 15 août.

Alimentation : par vase, sans addition de carbonate de chaux :

Monophosphate de potasse	0^{gr},5444
Chlorure de potassium.	0 ,1492
Sulfate de magnésie.	0 ,2400

Puis en nitrate de chaux :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
	Gr.	Gr.
47	1,312	0,224
48	1,312	0,224
49	1,312	0,224
50	0,656	0,112
51	0,656	0,112
52	0,656	0,112
53	0,328	0,056
54	0,328	0,056
55	0,328	0,056

Résultats.

La levée des plantes mises à l'étude fut bonne et leur état pendant la première semaine de leur existence fut uniforme pour toute la série.

Le cours de la végétation ultérieure, satisfaisant en général, ne fut l'objet d'aucune remarque particulière.

La récolte a été la suivante :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des rejets inféconds.	LONGUEUR des 7 tiges mères.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des grains parfaits.	NOMBRE des grains incomplètement développés[1].
	Gr.			M. — M.			
47	0,224	10	26	0,82 — 1,02	264	440	40
48	0,224	9	21	0,84 — 1,00	270	429	34
49	0,224	8	17	0,88 — 1,02	254	424	30
50	0,112	7	14	0,68 — 0,82	112	194	13
51	0,112	7	12	0,69 — 0,85	104	170	16
52	0,112	7	16	0,55 — 0,84	124	172	17
53	0,056	7	7	0,44 — 0,70	52	70	27
54	0,056	7	2	0,46 — 0,61	51	72	20
55	0,056	7	5	0,50 — 0,68	53	80	17

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	SUBSTANCE SÈCHE. Balles.	SUBSTANCE SÈCHE. Paille.	SUBSTANCE SÈCHE. Total.	PROPORTION centésimale de toute la récolte. Grains.	PROPORTION centésimale de toute la récolte. Balles.	PROPORTION centésimale de toute la récolte. Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				
47	0,224	10,372	0,894	11,464	22,730	45.7	3.9	50.4	23.6
48	0,224	8,821	0,776	11,810	21,407	41.2	3.6	55.2	20.6
49	0,224	9,903	0,826	11,214	21,943	45.1	3.8	51.1	23.4
50	0,112	4,556	0,311	5,827	10,694	42.6	2.9	54.4	23.5
51	0,112	4,639	0,349	6,070	11,058	41.9	3.2	54.9	27.3
52	0,112	4,135	0,331	5,424	9,890	41.8	3.3	54.9	24.0
53	0,056	1,992	0,165	3,569	5,726	34.8	2.9	62.3	28.5
54	0,056	1,907	0,154	3,067	5,128	37.2	3.0	59.8	26.5
55	0,056	2,083	0,163	3,553	5,799	35.9	2.8	61.3	26.0

1. Les grains de formation incomplète qui, dans l'usage habituel, sont désignés sous le nom de grains stériles, n'ayant point formé d'albumen, sont presque uniquement une partie composante de la balle. Ils peuvent facilement se reconnaître car ils se laissent presser et écraser sans offrir de résistance. Aussi cette année et les suivantes nous ne les comprendrons plus dans les grains, mais dans les balles, et ils seront pesés comme tels.

1885.

Conditions générales semblables à celles de 1885, dans les essais faits sur l'orge.

Variété à l'étude : avoine de pays.

Semence : poids absolu variant de 36 à 48 milligr., soit une moyenne de $41^{mg},9$ par grain séché à l'air.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 furent enlevés et 7 parvinrent à un développement ultérieur.

Période de végétation : les semences ont été mises dans l'eau distillée, pour y germer, le 20 avril et ont été plantées le 23 avril, après la sortie de la radicule.

La levée s'est opérée le 27 avril.

La récolte le 21 juillet.

Alimentation : il a été donné pour chaque vase :

Monophosphate de potasse	0^{gr},5444
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

En outre, en nitrate :

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.	CARBONATE DE CHAUX mêlé sec au sol	
			en poids.	en proportion du sable.
	Gr.		Gr.	P. 100
56	1,312	0,224	—	—
57	1,312	0,224	—	—
58	0,656	0,112	—	—
59	0,656	0,112	—	—
60	0,000	0,000	—	—
61	0,000	0,000	—	—
62	0,656	0,112	1,15	0,025
63	0,656	0,112	1,15	0,025
64	0,656	0,112	2,30	0,050
65	0,656	0,112	23,00	0,500

Résultats.

L'état des jeunes plantes fut bon dès le début de l'expérience et uniforme dans toute la série. La végétation suivit un cours satisfaisant jusqu'à la fin et aucun trouble, de quelque nature qu'il soit, n'est à signaler.

La récolte donna :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	CARBONATE de chaux.	NOMBRE des tiges portant épis.	NOMBRE des rejets stériles.	LONGUEUR des 7 tiges mères.	NOMBRE des épis.	NOMBRE des grains parfaits.
	Gr.	Gr.			M. M.		
56	0,224	—	8	13	0,98 — 1,17	259	423
57	0,224	—	8	13	0,94 — 1,15	242	427
58	0,112	—	7	7	0,74 — 0,98	148	227
59	0,112	—	7	10	0,70 — 0,83	146	169
60	—	—	8	0	0,23 — 0,30	10	7
61	—	—	7	0	0,22 — 0,28	9	8
62	0,112	1,15	7	10	0,73 — 0,91	123	197
63	0,112	1,15	7	11	0,70 — 0,87	124	214
64	0,112	2,30	7	5	0,74 — 0,85	106	174
65	0,112	23,00	8	3	0,68 — 0,85	135	164

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	Balles.	Paille.	Total.	PROPORTION centésimale de toute la récolte. Grains.	Balles.	Paille.	POIDS moyen d'un grain sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
56	0,224	9,674	1,395	11,688	22,757	42.5	6.1	51.4	22,9
57	0,224	9,640	1,473	11,263	22,376	43.1	6.6	50.3	22,6
58	0,112	5,051	0,814	6,680	12,545	40.3	6.5	53.2	22,3
59	0,112	3,922	0,842	6,513	11,277	34.8	7.5	57.7	23,2
60	—	0,190	0,038	0,443	0,671	28.3	5.7	66.0	27,1
61	—	0,109	0,033	0,450	0,592	18.4	5.6	76.0	13,6
62	0,112	4,685	0,742	6,272	11,699	40.0	6.4	53.6	23,8
63	0,112	4,711	0,661	6,421	11,793	40.0	5.6	54.4	22,0
64	0,112	3,895	0,571	5,276	9,742	40.0	5.8	54.2	22,4
65	0,112	4,133	1,018	6,770	11,921	34.7	8.5	56.8	25.2

c) Pois.

1883.

Conditions générales: semblables à celles qui ont été données pour l'orge et l'avoine dans les cultures de l'année 1883, quant à la nature des vases, du poids du sable et à l'état d'humidité du sol.

Variété : pois champêtre jaune, printanier.

Semence : poids absolu variant de 164 à 180 milligr., soit en moyenne par grain 172^{mg},2 avec 10.39 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 6 grains par vase, dont 3 seulement furent laissés pour terminer leur végétation ; les 3 autres furent enlevés huit jours après la levée, avec le reste du grain adhérent à la tige. (Le poids sec des plantes supprimées variait, dans les différents vases de 0^{gr},328 à 0^{gr},487 et donnait, en moyenne, 0^{gr},133 pour l'une d'elles.)

Période de végétation : les grains déposés le 7 avril dans l'eau distillée, pour y germer, furent mis en place le 9 avril avec les radicules sorties.

La levée eut lieu du 18 au 20 avril.

La récolte se fit à des époques différentes, du 1er au 20 août, la maturité ayant été inégale.

Alimentation pour chaque vase :

Carbonate de chaux (mêlé au sable à l'état sec)	4^{gr},0000
Monophosphate de potasse, en dissolution.	0 ,5444
Chlorure de potassium, en dissolution	0 ,1492
Sulfate de magnésie, en dissolution	0 ,2400

En outre, les quantités suivantes de nitrate :

Tableau.

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
	Gr.	
66	1,968	0,336
67	1,312	0,224
68	1,312	0,224
69	0,984	0,168
70	0,656	0,112
71	0,656	0,112
72	0,656	0,112
73	0,328	0,056
74	0,328	0,056
75	0,328	0,056
76	0,164	0,028
77	0,000	0,000
78	0,000	0,000
79	0,000	0,000

Résultats.

La levée des pois fut bonne et l'état des jeunes plantes uniforme. Jusqu'à la fin de la seconde semaine de végétation, on ne put découvrir aucune différence dans toute la série mise en observation.

Dans la troisième semaine, l'influence des doses d'azote commença à se révéler, non par un accroissement de végétation dans les plantes qui recevaient la solution azotée, mais uniquement par leur couleur.

Les plantes des vases n°s 77, 78 et 79, dont la solution nutritive ne contenait pas de nitrate de chaux, étaient au contraire un peu plus hautes ; mais elles étaient vert clair, tandis que les autres avaient un feuillage vert foncé et d'autant plus foncé que la solution qui leur était donnée contenait plus d'azote.

Des différences analogues, dans la croissance, se montrèrent dès la 4e semaine, où l'on vit les n°s 77 à 79, restés en retard dans leur végétation, arriver à un état d'inanition bien prononcé, état qui devient incontestable, dès que toute feuille nouvellement formée est plus petite que la précédente et que la plus ancienne, vivante encore

à ce moment, s'épuise et se dessèche pendant le développement de cette jeune feuille.

Les autres numéros continuèrent à croître d'une façon normale et correspondant, par la vigueur, à leur alimentation, en sorte qu'à la fin de la sixième semaine de végétation, toute la série reflétait exactement et fidèlement l'importance des doses d'azote reçues par chaque plante, ainsi que cela s'était montré dans les expériences sur l'orge et sur l'avoine.

Mais, dans la septième semaine, un changement commença à se faire assez subitement et sans transition.

Pendant que le n° 77 restait dans son état d'inanition, deux plantes du n° 79 tout d'abord, et un peu plus tard deux autres du n° 78 en sortaient et changeaient en une teinte verte, révélant la santé, la couleur morbide, vert jaunâtre de leur jeune feuille, et bientôt après celles des autres parties de la plante, qui étaient encore vivantes, reverdissaient à leur tour. Les folioles de la feuille nouvellement sortie se développèrent alors plus vigoureuses et plus larges que celles qui les avaient précédées, sans qu'aucun organe ancien s'altérât par épuisement et, dès ce moment, commença une croissance rapide et énergique.

Au même temps, des plantes qui recevaient la solution azotée, différant dans leur développement ultérieur, restèrent stationnaires ou même dépérirent. Il arriva de là que, dans la 11e semaine de végétation, le n° 79 avait atteint et même dépassé la plupart d'entre elles et qu'à cet instant il ne pouvait plus être question de concordance entre l'état des pois et les doses d'azote introduites dans le sol.

Dans la seconde moitié de juillet, toutes les plantes furent atteintes par la rouille et fortement attaquées par les pucerons.

Quoique cet accident survînt un peu avant la maturité, la fin de la végétation ne fut pas néanmoins complètement satisfaisante.

Voici les principales données relatives à la récolte :

TABLEAU.

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	PLANTES.	POUSSES latérales fructifères.	HAUTEUR de la tige.	NOMBRE des gousses.	NOMBRE des grains.	OBSERVATIONS.
	Gr.			Mètres.			
66	0,336	*a*	1	0,81	6	14	
		b	—	0,77	2	3	
		c	—	0,75	2	6	
67	0,224	*a*	—	0,86	6	14	
		b	—	0,76	5	9	
		c	1	0,57	4	5	
68	0,224	*a*	—	0,70	3	6	
		b	—	0,58	3	5	
		c	1	0,54	4	7	
69	0,168	*a*	—	0,68	3	5	
		b	—	0,68	3	6	
		c	—	0,68	2	5	
70	0,112	*a*	—	0,71	3	4	
		b	—	0,53	4	2	
		c	—	0,48	1	2	
71	0,112	*a*	—	0,73	5	11	
		b	—	0,69	4	7	
		c	—	0,70	6	10	2 grains mangés par les vers.
72	0,112	*a*	—	0,80	7	14	
		b	—	0,61	3	7	
		c	—	0,54	1	2	
73	0,056	*a*	—	0,26	—	—	
		b	—	0,25	—	—	
		c	—	0,22	—	—	
74	0,056	*a*	—	0,52	5	5	
		b	—	0,36	3	3	
		c	1	0,36	3	4	2 grains mangés par les vers.
75	0,056	*a*	—	0,30	—	—	
		b	—	0.28	—	—	
		c	—	0,22	—	—	
76	0,028	*a*	—	0,35	2	2	1 grain mangé par les vers.
		b	—	0,29	—	—	
		c	—	0,19	—	—	
77	0,000	*a*	—	0,14	—	—	
		b	—	0,13	—	—	
		c	—	0,12	—	—	
78	0,000	*a*	—	0,45	5	7	
		b	—	0,41	3	7	
		c	—	0,18	—	—	
79	0,000	*a*	—	0,51	5	11	
		b	—	0,34	2	8	
		c	—	0,28	5	—	

Poids et teneur en azote de la récolte :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE.				COMPOSITION centésimale de la récolte entière.			POIDS moyen d'un grain sec.
		Grains.	Balles.	Paille.	Total.	Grains.	Balles.	Paille.	
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
66	0,336	3,2757	0,8948	7,1815	11,3520	28.9	7.9	63.2	142.4
67	0,224	2,6920	0,8958	6,1374	9,7252	27.7	9.2	63.1	96.1
68	0,224	1,5055	0,6243	4,5160	6,6458	22.6	9.4	68.0	83.6
69	0,168	1,5575	0,5484	3,5126	5,6185	27.7	9.8	62.5	97.4
70	0,112	0,6785	0,3444	3,8917	4,9146	13.8	7.0	79.2	84.8
71	0,112	3,5943	0,8848	5,2880	9,7671	36.8	9.1	54.1	138.2
72	0,112	2,5809	0,7148	5,2012	8,4969	30.4	8.4	61.2	112.2
73	0,056	—	—	1,3037	1,3037	—	—	100.0	—
74	0,056	0,5991	0,5910	2,9382	4,1283	14.5	14.3	71.2	59.9
75	0,056	—	—	0,9776	0,9776	—	—	100.0	—
76	0,028	0,0438	0,0926	1,6191	1,7555	2.5	5.3	92.2	43.8
77	0,000	—	—	0,5508	0,5508	—	—	190.0	—
78	0,000	1,1903	0,4289	0,8768	3,4960	34.0	12.3	53.7	85.0
79	0,000	1,4270	0,6131	3,1933	5,2334	27.3	11.7	61.0	75.1

1884.

Conditions générales : semblables à celles qui ont été indiquées pour l'orge et l'avoine dans les cultures de l'année 1884.

Variété : pois jaune des champs printanier.

Semence : poids absolu variant de 170 à 190 milligr. ; en moyenne 181^{mg},2 par grain séché à l'air, avec 12.6 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 4 grains par vase, dont 2 furent arrachés après la levée.

Période de végétation : les semences ont été mises à germer le 5 mai dans l'eau distillée.

La levée a eu lieu du 16 au 17 mai.

La récolte s'est faite le 28 août.

Alimentation : Nous ne pouvions nous dissimuler que l'entier développement des pois n'avait pas été aussi satisfaisant l'année précé-

dente que celui des graminées. Aussi nous décidâmes à modifier l'alimentation, en faisant varier quelque peu la formule et les proportions, particulièrement au point de vue de l'acide phosphorique et de la potasse. C'est ainsi que chaque vase a reçu les quantités suivantes :

NUMÉROS des vases.	MONO-PHOSPHATE de potasse.	MONO-PHOSPHATE de chaux.	CHLORURE de potassium.	SULFATE de magnésie.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.	CARBONATE de chaux mêlé d'avance au sable à l'état sec.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
80	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	1,968	0,336	4
81	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	1,640	0,280	4
82	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	1,312	0,224	4
83	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	1,312	0,224	40
84	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	0,984	0,168	4
85	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	0,656	0,112	4
86	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	0,656	0,112	40
87	0,2722	0,4690	0,5968	0,1800	0,328	0,056	4
88	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	0,328	0,056	40
89	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	0,164	0,028	4
90	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	—	—	4
91	0,2722	0,4680	0,5968	0,1800	—	—	40
92	0,1361	0,1170	0,5968	0,1800	0,984	0,168	4
93	0,0680	0,0585	0,5968	0,1800	0,984	0,168	4

Résultats.

La levée se fit bien et, au début de l'expérience, les jeunes plantes se comportèrent parfaitement avec une croissance très égale pour toute la série, jusqu'à la fin des trois premières semaines de la végétation, en sorte qu'aucune différence ne fut à signaler, dans un quelconque des numéros.

Au commencement de la 4e semaine, l'influence des doses d'azote se fit sentir, et comme précédemment se manifesta par une couleur plus foncée, puis un peu plus tard par une végétation plus vigoureuse dans les numéros qui recevaient du nitrate de chaux.

A peu près en même temps, les deux n[os] 90 et 91, auxquels on ne donnait pas d'azote, commencèrent à entrer dans la période d'inanition ; ils prirent une teinte jaune, les feuilles nouvellement écloses apparurent d'une dimension toujours plus faible et les plus anciennes se desséchèrent.

A la fin de la 6[e] semaine, les plantes présentèrent du n° 91 au n° 80 une belle série, régulièrement ascendante, et qui correspondait exactement aux doses d'azote introduites dans leur alimentation.

Puis, comme en 1883, il se fit par bonds saccadés une transformation rapide qui vint jeter le désordre le plus complet dans toute la série.

Les deux plants du n° 90 devenus verts tout à coup commencèrent à croître et avec une telle vigueur que bientôt ils égalèrent tous les autres et devinrent plus beaux dès la 10[e] semaine.

Dans les plants du n° 91, auxquels n'avait également pas été donné d'azote, l'état de disette persista encore deux semaines, puis ils se relevèrent et commencèrent à montrer des produits, mais sans accuser jamais une énergie qui approchât de celle du numéro voisin.

Le développement ultérieur se fit dans les vases, qui avaient reçu du nitrate de chaux, sans montrer de troubles apparents, mais il fut plus grand dans l'un, moindre dans l'autre, et évidemment sans aucun rapport avec la quantité d'azote fournie au sol.

En résumé, la végétation des pois, soumis à l'expérience en 1884, fut beaucoup meilleure qu'elle ne l'avait été l'année précédente.

La récolte a donné les résultats suivants :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	PLANTES.	POUSSES latérales fructifères.	HAUTEUR des tiges.	NOMBRE des gousses avec grains.	NOMBRE des gousses sans grains.	NOMBRE des grains.
	Gr.			Mètres.			
80	0,336	a	—	0,72	2	—	11
		b	1	0,68	3	—	14
81	0,280	a	—	0,70	3	—	12
		b	—	0,69	2	—	10
82	0,224	a	—	0,71	2	—	14
		b	—	0,71	2	—	11
83	0,224	a	1	0,75	4	1	14
		b	—	0,71	2	—	8
84	0,168	a	1	0,74	4	—	22
		b	—	0,67	2	—	14
85	0,112	a	1	0,82	6	—	28
		b	1	0,78	6	—	23
86	0,112	a	1	0,73	4	—	15
		b	—	0,63	3	—	8
87	0,056	a	—	0,77	2	—	12
		b	1	0,74	4	—	19
88	0,056	a	1	0,71	4	2	12
		b	—	0,68	3	—	12
89	0,028	a	—	0,74	3	—	14
		b	1	0,72	6	—	22
90	—	a	1	0,96	7	1	40
		b	1	0,84	7	—	30
91	—	a	—	0,68	2	—	11
		b	—	0,64	2	—	9
92	0,168	a	—	0,66	3	—	9
		b	—	0,61	2	1	5
93	0,168	a	—	0,70	2	—	10
		b	1	0,60	3	—	10

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE.				PROPORTION CENTÉSIMALE de la récolte totale.			POIDS moyen d'un grain sec.
		Grains.	Balles.	Paille.	Total.	Grains.	Balles.	Paille.	
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Milligr.
80	0,336	4,083	1,287	4,249	9,619	42.4	13.4	44.2	163,3
81	0,280	3,873	1,203	5,472	10,548	36.7	11.4	51.9	175,9
82	0,224	3,314	0,754	5,269	9,337	35.5	8.1	56.4	132,6
83	0,224	3,572	1,341	6,666	11,579	30.8	11.6	57.6	162,4
84	0,168	5,885	1,287	4,192	11,364	51.8	11.3	36.9	163,5
85	0,112	8,800	2,091	7,802	18,693	47.1	11.2	41.7	172,5
86	0,112	3,260	1,102	4,105	8,467	38.5	13.0	48.5	141,7
87	0,056	5,616	1,256	7,174	14,046	40.0	8.9	51.1	181,2
88	0,056	3,270	1,146	4,739	9,155	35.7	12.5	51.8	136,3
89	0,028	6,081	1,349	6,381	13,811	44.0	9.8	46.2	168,9
90	—	13,947	3,255	11,281	28,483	49.0	11.4	39.6	199,2
91	—	3,025	0,849	3,312	7,186	42.1	11.8	46.1	151,3
92	0,168	1,631	0,758	3,642	6,031	27.0	12.6	60.4	116,5
93	0,168	2,094	0,834	3,146	6,074	34.5	13.7	51.8	104,7

1885.

Conditions générales.

Vases de culture : 24 centimètres de hauteur ; 15 et 13 centimètres de diamètre.

Sable de chaque vase : 4 kilogr.

Humidité du sol pendant la végétation : variant de 15 à 10 p. 100, c'est-à-dire 60 à 40 p. 100 de la puissance d'absorption du sable.

Variété : pois « Gloire de Cassel ».

Semence : poids absolu variant de 200 à 250 milligr., en moyenne 231 milligr. par grain séché à l'air ; eau = 12.6 p. 100.

Ensemencement : 6 grains mis dans chaque vase, sur lesquels 4 furent arrachés et rejetés et 2 laissés en place pour végéter.

Période de végétation : les grains ayant commencé à germer le 30 mars dans l'eau distillée furent semés le 2 avril avec leurs radicules sorties.

La levée des grains a eu lieu du 6 au 7 avril.

La maturité étant inégale, la récolte a été faite à différents jours :

Les n°s 110, 111, 116, 117, 98, 100 et 101 ont été récoltés le 16 juillet.

Les n°s 102, 113, 115 et 97 ont été récoltés le 18 juillet.

Les n°s 107, 112, 114 et 95 ont été récoltés le 21 juillet.

Le n° 104 a été récolté le 3 août.

Les n°s 94 et 96 ont été récoltés le 5 août.

Les n°s 105 et 108 ont été récoltés le 12 août.

Les n°s 103, 106, 109 et 99 ont été récoltés le 17 août.

Alimentation : comme nous l'avons dit plus haut, la végétation des pois ne nous ayant pas satisfait en 1883, nous avions fait quelques changements à la solution nutritive dans l'expérience de 1884 et nous avions pu, en effet, constater une amélioration dans la croissance de nos plantes. Mais par une série de recherches faites en 1884 dans une autre direction et qui, ne se liant pas étroitement à notre sujet, n'ont pas besoin d'être décrites ici, nous avions acquis la conviction que notre ancienne solution pouvait donner aux pois une bonne végétation. Nous n'avons donc vu aucun obstacle qui nous empêchât de revenir pour ceux-ci, en 1885, à une solution semblable à celle que nous avions donnée à l'orge et à l'avoine. Partant de cette idée tous les vases ont reçu pour chacun de leurs numéros :

Monophosphate de potasse	0^{kr},5444
Chlorure de potassium	0 ,1492
Sulfate de magnésie	0 ,2400

et de plus

NUMÉROS des vases.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.	CARBONATE DE CHAUX ajouté. Poids.	CARBONATE DE CHAUX ajouté. P. 100 du sable.
	Gr	Gr	Gr.	
94 — 95	0,656	0,112	1	0,025
96 — 97	0,656	0,112	4	0,100
98 — 99	0,656	0,112	10	0,250
100 — 101	0,656	0,112	20	0,500
102 — 103	0,000	0,000	0	0,000
104 — 105	—	—	0,4	0,010
106 — 107	—	—	1	0,025
108 — 109	—	—	2	0,050
110 — 111	—	—	4	0,100
112 — 113	—	—	10	0,250
114 — 115	—	—	20	0,500
116 — 117	—	—	40	1,000

Résultats.

Comme conséquence des froids qui régnèrent dans la première semaine d'avril, la levée se fit moins bien et fut moins uniforme qu'elle ne l'avait été dans les essais précédents.

Mais comme cette fois des six plantes levées quatre furent rejetées et deux seulement laissées en place, une égalité très satisfaisante s'établit dans la végétation de toute la série et pendant la 2e et la 3e semaine aucune différence ne put être signalée dans les 24 couples de plantes mis à l'étude.

Au début de la 4e semaine de végétation l'influence de l'azote commença à se laisser apercevoir et devint rapidement très frappante. Les plantes du n° 94 au n° 101 prirent la teinte vert foncée et la marche de leur croissance, clairement normale, n'eut pas d'interruption ; celles au contraire du n° 102 au n° 117 jaunirent et prirent une apparence malade ; leur développement resta stationnaire et elles commencèrent à se consumer feuille à feuille.

Cet état dura jusqu'à la fin de la 5e semaine et, au 9 mai, toutes les plantes des 8 numéros qui avaient reçu de l'azote étaient uniformément belles, tandis que les 16 numéros privés de solution azotée étaient tous également mal venus sans aucune exception.

A partir de ce moment, la situation se modifia et les plantes auxquelles on n'avait pas donné d'azote, sortirent peu à peu de la période de disette. Ce changement se reconnaît, ainsi qu'il a été dit plus haut, quand les plantes, perdant leur teinte jaunâtre, deviennent d'un vert normal et se mettent à pousser, et cet état est si caractéristique, qu'avec une observation attentive on peut en déterminer le commencement à jour fixe. Le changement ne se manifesta dans les 16 numéros, ni en même temps ni avec la même énergie, mais les deux exemples suivants montreront combien il fut frappant et rapide.

Au 10 mai, les deux plantes affamées du n° 105 donnèrent les premières des signes de reverdissement dans leur plus jeune feuille.

Au 13 mai déjà, les plantes entièrement étaient d'un vert normal, si bien qu'elles ne se distinguaient plus par la couleur des pois alimentés avec de l'azote, mais seulement par un développement moindre.

Quatorze jours plus tard, elles avaient réparé le temps perdu et atteint la taille des plantes, qui avaient continué à croître en recevant la solution azotée.

Enfin, au 25 juin, début de la période de floraison, elles avaient déjà pris l'avance.

Les deux plants du n° 109 suivirent fidèlement cette marche ascendante.

Le reverdissement commença, pour eux, le 12 mai.

Ils furent complètement verts le 16 du même mois.

Au 5 juin, ils étaient égaux en développement aux plantes qui avaient crû dans la solution azotée.

Au milieu de juin, enfin, ils les avaient déjà manifestement dépassés.

La végétation tout entière des 4 plantes contenues dans les vases n°s 105 et 109 eut beaucoup de la marche insolite, remarquée en 1884 dans les deux plantes du n° 90. Dès qu'elles eurent triomphé de leur état d'inanition, rien ne rappela plus qu'elles poussaient dans un sol dépourvu d'azote. Leur développement d'une rapidité extraordinaire, leurs organes drus et pleins de sève, joints à leur teinte foncée d'un vert noir, leur donnaient exactement l'aspect typique des plantes regorgeant d'azote.

Les autres plantes des vases qui n'avaient pas reçu d'azote, ne donnèrent pas les mêmes résultats pour la marche de la végétation. Elles sortirent plus tard et inégalement, quelques-unes même pas du tout, de leur état de disette, et quelques-unes d'entre elles seulement atteignirent dans leur croissance les pois alimentés à l'azote, sans les dépasser ; d'autres restèrent en arrière, certaines d'entre elles enfin ne donnèrent aucun produit.

Dans les 8 numéros alimentés d'azote, la végétation des plantes fut, du commencement à la fin, régulière, continue et d'apparence normale.

La récolte a donné les résultats suivants :

NUMÉROS des vases.	PLANTES.	NOMBRE des pousses latérales.	HAUTEUR des tiges.	NOMBRE des gousses avec grains.	NOMBRE des gousses sans grains.	NOMBRE des grains.	POIDS de la substance sèche. Grains.	Balles.	Paille.	Total.
			Mètres.				Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
94	*a*	1	1,040	7	—	20	7,063	1,647	4,447	13,157
	b	1	1,015	5	—	18	4,229	0,975	3,999	9,203
95	*a*	2	1,074	4	—	17	4,428	1,040	3,768	9,236
	b	1	0,920	5	—	11	4,042	0,742	2,935	7,719
96	*a*	—	0,903	4	—	15	2,436	0,759	4,338	7,533
	b	1	0,957	6	—	19	3,809	1,283	5,851	10,943
97	*a*	—	0,882	6	—	21	3,973	1,007	2,445	7,425
	b	—	1,020	8	—	25	5,225	1,348	4,571	11,144
98	*a*	2	0,820	6	—	20	4,244	1,161	3,509	8,914
	b	1	1,005	6	—	30	5,685	1,322	4,732	11,739
99	*a*	1	1,080	7	—	24	5,375	1,337	4,151	10,863
	b	—	1,055	6	1	18	3,908	1,471	3,982	9,361
100	*a*	1	0,983	5	—	23	4,082	1,157	3,644	8,883
	b	—	1,130	7	—	27	4,668	1,408	3,503	9,579
101	*a*	2	1,000	8	1	23	4,549	1,234	4,415	10,198
	b	1	1,044	8	—	21	3,811	1,165	3,531	8,507
102	*a*	1	0,725	7	—	22	4,689	0,994	2,436	8,119
	b	2	0,532	4	—	13	2,284	0,410	1,278	3,972
103	*a*	—	0,298	1	—	4	0,627	0,120	0,784	1,531
	b	—	0,555	3	1	9	1,845	0,476	1,184	3,505
104	*a*	1	0,450	2	—	3	0,646	0,222	0,936	1,804
	b	—	0,445	2	—	6	1,099	0,233	0,654	1,986
105	*a*	1	1,150	14	—	33	6,544	2,551	7,996	17,091
	b	1	1,100	9	1	28	5,882	2,319	7,885	16,056
106	*a*	—	0,825	3	—	11	2,064	0,507	2,195	4,766
	b	1	0,220	3	—	5	0,924	0,383	1,166	2,473
107	*a*	—	0,405	1	—	2	0,311	0,095	0,513	0,919
	b	—	0,410	2	—	3	0,432	0,150	0,482	1,064
108	*a*	—	0,845	6	—	19	3,934	0,996	3,014	7,944
	b	—	0,750	3	—	9	1,760	0,378	1,054	3,192
109	*a*	1	0,944	8	—	27	5,712	1,830	5,652	13,192
	b	—	1,206	9	3	27	5,998	1,928	6,696	14,622
110	*a*	—	0,630	3	—	7	1,280	0,402	1,049	2,731
	b	—	0,485	3	—	7	1,146	0,358	0,859	2,363
111	*a*	—	0,746	6	—	16	3,211	0,949	1,626	5,786
	b	—	0,800	5	—	18	3,758	0,975	2,232	6,965
112	*a*	1	0,855	7	—	19	3,821	1,154	3,634	8,609
	b	—	0,745	3	—	7	1,161	0,350	1,297	2,808
113	*a*	—	0,758	4	—	12	2,113	0,580	1,576	4,269
	b	—	0,830	4	—	18	3,525	0,864	2,550	6,939
114	*a*	—	0,660	4	—	9	1,242	0,568	1,323	3,133
	b	—	0,610	4	—	10	1,385	0,552	1,204	3,141
115	*a*	1	0,170	1	—	2	0,245	0,102	0,342	0,689
	b	1	0,160	2	—	3	0,430	0,224	0,375	1,029
116	*a*	—	0,745	4	—	10	1,792	0,584	1,524	3,900
	b	—	0,773	4	—	17	2,720	0,873	2,206	5,799
117	*a*	—	0,417	0	—	0	—	—	0,630	0,630
	b	—	0,786	4	1	17	3,243	1,212	2,548	7,003

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE.				PROPORTION CENTÉSIMALE de la récolte.			POIDS moyen d'un grain sec.
		Grains.	Balles.	Paille.	Total.	Grains.	Balles.	Paille.	
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.				Mgr.
94	0,112	11,292	2,622	8,446	22,360	50.5	11.7	37.8	240,3
95	0,112	8,470	1,782	6,703	16,955	50.0	10.5	39.5	222,9
96	0,112	6,245	2,042	10,189	18,476	33.8	11.1	55.1	183,7
97	0,112	9,198	2,355	7,016	18,569	49.5	12.7	37.8	200,0
98	0,112	9,929	2,483	8,241	20,653	48.1	12.0	39.9	198,6
99	0,112	9,283	2,808	8,133	20,224	45.9	13.9	40.2	221,0
100	0,112	8,750	2,565	7,147	18,462	47.4	13.9	38.7	175,0
101	0,112	8,360	2,399	7,946	18,705	44.7	12.8	42.5	190,0
102	—	6,973	1,404	3,714	12,091	57.7	11.6	30.7	199,2
103	—	2,472	0,596	1,963	5,036	49.1	11.8	39.1	190,2
104	—	1,745	0,455	1,590	3,790	46.0	12.0	42.0	193,9
105	—	12,426	4,870	15,851	33,147	37.5	14.7	47.8	203,7
106	—	2,988	0,890	3,361	7,239	41.3	12.3	46.4	186,8
107	—	0,743	0,245	0,995	1,983	37.5	12.3	50.2	148,6
108	—	5,694	1,374	4,068	11,136	51.1	12.3	36.6	203,4
109	—	11,710	3,758	12,348	27,816	42.1	13.5	44.4	216,9
110	—	2,426	0,760	1,908	5,094	47.6	14.9	37.5	173,3
111	—	6,969	1,924	3,858	12,751	54.7	15.1	30.2	205,0
112	—	4,982	1,504	4,931	11,417	43.6	13.2	43.2	191,6
113	—	5,638	1,444	4,126	11,208	50.3	12.9	36.8	187,9
114	—	2,627	1,120	2,527	6,274	41.9	17.8	40.3	138,3
115	—	0,675	0,326	0,717	1,718	39.3	19.0	41.7	135,0
116	—	4,512	1,457	3,730	9,699	46.5	15.0	38.5	167,1
117	—	3,243	1,212	3,178	7,633	42.5	15.9	41.6	190,8

IV.

Nous avons déterminé la teneur en azote d'un grand nombre de ces récoltes, d'abord par combustion avec la chaux sodée, plus tard par la méthode de Kjeldahl, modifiée par Wilfarth et, de temps en temps, nous contrôlions notre analyse en suivant la méthode de Dumas avec l'appareil de Kreussler.

J'ai inscrit les résultats obtenus dans deux tableaux : le premier donne la proportion centésimale de l'azote trouvé et le deuxième la teneur absolue des récoltes en azote, exprimée en grammes ; mais, avant de faire suivre ici ces tableaux, je dois présenter les observations générales suivantes :

Dans les produits récoltés, on a examiné séparément les grains, les balles et la paille, chaque fois que leur poids l'a permis ; mais

quand la quantité en était trop faible, on a pris en bloc les balles et la paille ou soumis les plantes tout entières à l'analyse.

Nous ne nous sommes permis de réunir les produits de deux numéros destinés à se contrôler, que pour avoir une plus grande quantité de matière à analyser et lorsque, non seulement l'ensemble de la production, mais le développement tout entier des plantes et le rapport proportionnel des grains, paille, etc., concordaient presque complètement, dans l'un et dans l'autre.

Quant aux racines, dont la récolte aussi bien que l'analyse présente tant de difficultés, en ce sens qu'il n'est possible de les séparer complètement du sol qui y adhère ni par le lavage ni de tout autre manière et qu'elles nous laissent toujours dans l'alternative ou de n'en prendre qu'une partie pour l'avoir pure ou d'opérer sur une masse mélangée de certaines quantités de matières étrangères, nous avons procédé de la façon suivante :

Quand la partie aérienne des plantes avait été mise de côté, le contenu du vase d'expérience était renversé dans une large soucoupe et placé dans la serre : on laissait ainsi la masse se dessécher librement, jusqu'à ce que le sable se désagrégeât sans que les plus fines radicelles perdissent leur flexibilité ; puis, à ce moment, le tout étant posé sur un tamis, le sable sec s'écoulait à travers les mailles. Naturellement ce qui restait sur le tamis n'était pas encore pur la plupart du temps, mais la masse des racines n'avait ainsi subi presque aucune perte. Alors, laissant la dessiccation se poursuivre lentement, on finissait, à l'aide de pressions et de secousses données avec précaution, par écarter encore la plus forte partie du sable, par obtenir en dernier lieu les racines mélangées à une très faible portion du sol de culture. On pouvait donc arriver ainsi à déterminer la quantité d'azote absolue contenue dans les racines, avec d'autant moins de crainte que le sable de quartz, dont nous nous étions servi pour la culture, était complètement dépourvu de substance organique.

Nous avons même cru, d'autant mieux que nous employions la méthode de Kjeldahl, pouvoir sans difficulté, dans ce mélange de sable et de racines, déterminer les proportions centésimales de l'azote, en procédant ainsi : après avoir traité le sable restant dans le récipient

par l'acide sulfurique, nous le pesions, puis, son poids retranché de la substance sèche soumise à l'analyse, la différence était portée en compte comme racines nettes.

L'erreur commise par ce procédé résultait de la coction du sable avec l'acide sulfurique concentré, parce qu'un peu de substance minérale entrait en la dissolution ; mais l'expérience nous a démontré qu'elle était assez faible, pour qu'on pût la négliger. A remarquer que, pour 40 grammes de sable servant à nos expériences, on perdait, en le traitant par l'acide sulfurique suivant Kjeldahl :

	0gr,0403
	0 ,0420
	0 ,0425
	0 ,0364
En moyenne	0gr,0403 soit 0.1 p. 100.

Or dans le dosage de l'azote, les quantités de sable restant qui y étaient soumises, variaient seulement de 1/2 à 20 grammes et que, dans chaque cas particulier, la perte par dissolution comptée par erreur comme racine, ne dépassant pas 1/2 à 20 milligr., ne pouvait monter, dans les circonstances les plus défavorables, qu'à 2 p. 100 du chiffre afférent à la racine ; régulièrement, elle n'a varié que de 0.1 à 0.3 p. 100.

Là, où nous nous sommes servi de la méthode Will et Varrentrapp, pour fixer la teneur en azote du mélange de racine et de sable, nous nous sommes abstenu de déterminer, par une recherche spéciale, le poids des racines nettes et nous avons mis à la place du chiffre dans le premier tableau (teneur centésimale) un point d'interrogation (?), et, pour éviter la confusion, nous avons indiqué par un trait (—) les cas où la teneur en azote des parties souterraines de la plante n'a pas été déterminée.

Quant aux quelques analyses de contrôle, faites suivant la méthode de Dumas, nous en avons marqué les chiffres d'une croix (+).

Tout ce que l'on désirerait connaître de plus se trouvera dans les documents analytiques, donnés comme appendice à la fin de notre travail.

Il a été trouvé dans 100 parties de substance sèche :

Azote.

Orge.

a) Dans les grains qui ont servi à l'ensemencement :

1883. 1.54 p. 100
1884. 1.80 —
1885. 1.76 —

b) Dans les produits récoltés :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné sous forme de nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.
	Gr.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
		1883			
1	0,336	1.638	0.447	0.467	?
			0.484	0.434	
2	0,224	1.398	0.409	0.466	?
4	0,224		0.417	0.452	
5	0,168	1.347	0.407	0.439	?
				0.456	
7	0,112	1.286	0.389	0.409	?
8	0,112			0.406	
9	0,056	1.217	0.361	0.374	?
10	0,056			0.354	
12	0,028	1.207	0.283	0.328	?
13	—	?	?	?	
14	—	?	?	?	?
		1884			
15	0,448	1.83	0.59		0.83
		1.85	0.61	0.57	
17	0,336	1.51	0.51	0.46	0.68
18	0,336			0.44	
20	0,224	1.35	0.44	0.34	0.66
		1.28		0.35	
		1.20 +		?	
21	0,112	1.31	0.46	0.38	0.57
22	0,112				
23	0,056	1.12	0.49	0.34	0.58
		1885			
26	0,224	1.25	0.41		—
27	0,112	1.38	0.28		—
29	—	0.66			
30	—	0.43			

Avoine.

a) Dans les grains qui ont servi à l'ensemencement :

1883. . . . . 1.74 p. 100
1884. . . . . 2.00 —
1885. . . . . 1.82 —

b) Dans les produits récoltés :

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné sous forme de nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.
	Gr.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
			1883		
35	0,336	1.523	1.315	0.394	?
				0.394	
36	0,224	1.370	1.266	0.371	?
37	0,224			0.370	
38	0,168	1.378	1.195	0.329	?
40	0,112	1.315	1.163	0.354	?
41	0,112	1.316		0.328	
42	0,056	1.333	1.156	0.312	?
43	0,056	1.333			
45	—	?	?	?	?
46	—	?	?	?	?
			1884		
47	0,224	1.31	1.00	0.24	0.49
49	0,224			0.23	
50	0,112	1.27	0.84	0.25	0.49
51	0,112				
53	0,056	1.29	0.71	0,23	0.52
55	0,056	1.23			
			1885		
56	0,224	1.42	0.29		—
58	0,112	1.33	0.26		—
60	—	0.83			
61	—	1.02			

Pois.

a) Dans les grains qui ont servi à l'ensemencement :

1883 . . . . 3.97 p. 100
1884 . . . . 4.45 —
1885 . . . . 4.00 —

b) Dans les produits récoltés :

<table>
<tr><th>NUMÉROS des vases.</th><th>AZOTE sous forme de nitrate de chaux.</th><th>GRAINS.</th><th>BALLES.</th><th>PAILLE.</th><th>RACINES.</th></tr>
<tr><td></td><td>Gr.</td><td>P. 100.</td><td>P. 100.</td><td>P. 100.</td><td>P. 100.</td></tr>
<tr><td colspan="6">1883</td></tr>
<tr><td>66</td><td>0,336</td><td>2.91</td><td colspan="2">0.67</td><td>2.61</td></tr>
<tr><td>67</td><td>0,224</td><td>3.18</td><td colspan="2">0.92</td><td>2.68</td></tr>
<tr><td>71</td><td>0,112</td><td>2.51</td><td colspan="2">0.68</td><td>2.79</td></tr>
<tr><td>72</td><td>0,112</td><td>2.75</td><td>0.58</td><td>1.77</td><td>3.32</td></tr>
<tr><td>74</td><td>0,056</td><td>2.78</td><td colspan="2">0.85</td><td>2.77</td></tr>
<tr><td>76</td><td>0,028</td><td colspan="3">1.19</td><td>2.37</td></tr>
<tr><td>78</td><td>—</td><td>2.39</td><td colspan="2">0.81</td><td>1.49</td></tr>
<tr><td>79</td><td>—</td><td>2.31</td><td colspan="2">1.14</td><td>2.94</td></tr>
<tr><td colspan="6">1884</td></tr>
<tr><td>80</td><td>0,336</td><td>4.15</td><td>0.63</td><td>0.78</td><td>2.06</td></tr>
<tr><td>81</td><td>0,280</td><td>3.42</td><td>0.51</td><td>1.07</td><td>1.85</td></tr>
<tr><td>83</td><td>0,224</td><td>2.93</td><td>0.59</td><td>1.19</td><td>—</td></tr>
<tr><td>84</td><td>0,168</td><td>3.18</td><td>0.48</td><td>0.87</td><td>2.35</td></tr>
<tr><td>85</td><td>0,112</td><td>3.57
3.58 +</td><td colspan="2">1.06</td><td>2.75</td></tr>
<tr><td>87</td><td>0,056</td><td>3.81</td><td>0.68</td><td>1.18</td><td>2.55</td></tr>
<tr><td>89</td><td>0,028</td><td>2.79</td><td colspan="2">1.38</td><td>2.36</td></tr>
<tr><td>90</td><td>—</td><td>4.47
4.59 +</td><td colspan="2">1.52</td><td>3.02</td></tr>
<tr><td>91</td><td>—</td><td>2.83</td><td>0.47</td><td>1.09</td><td>1.94</td></tr>
<tr><td colspan="6">1885</td></tr>
<tr><td>94</td><td>0,112</td><td>4.72
4.65
4.87 +</td><td colspan="2">1.06
1.09</td><td>3.58</td></tr>
<tr><td>95</td><td>0,112</td><td>4.33</td><td>0.56</td><td>1.31</td><td>3.07</td></tr>
<tr><td>98</td><td>0,112</td><td>3.65
3.68</td><td colspan="2">0.63
0.65</td><td>2.44</td></tr>
<tr><td>102</td><td>—</td><td>4.33</td><td>0.65</td><td>1.77</td><td>1.75</td></tr>
<tr><td>104</td><td>—</td><td>3.65</td><td>0.87</td><td>1.50</td><td>1.82</td></tr>
<tr><td>105</td><td>—</td><td>5.33
5.32
5.36 +</td><td colspan="2">2.49
2.46
2.56 +</td><td>4.47
4.22</td></tr>
<tr><td>108</td><td>—</td><td>4.32</td><td>0.54</td><td>1.23</td><td>1.72</td></tr>
<tr><td>109</td><td>—</td><td>5.00
5.03
5.15 +</td><td colspan="2">1.14
1.13
1.28 +</td><td>2.59</td></tr>
<tr><td>111</td><td>—</td><td>3.83
3.77</td><td colspan="2">0.71
0.73</td><td>1.78</td></tr>
<tr><td>112</td><td>—</td><td>4.20
4.22</td><td colspan="2">0.91
0.94</td><td>2.06</td></tr>
<tr><td>113</td><td>—</td><td>3.86</td><td>0.58</td><td>1.16</td><td>2.09</td></tr>
<tr><td>115</td><td>—</td><td>4.02</td><td>1.28</td><td>1.39</td><td>1.59</td></tr>
</table>

De ces chiffres on déduit les teneurs absolues suivantes en azote, par vase.

Orge.

a) Dans les grains de semence :

1883	0gr,004
1884	0 ,004
1885	0 ,004

b) Dans la récolte :

UMÉROS des vases.	AZOTE sous forme de nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	ENSEMBLE de la partie aérienne.	TOTAL pour la plante entière.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
				1883			
1	0,336	0,1701	0,0146	0,0713	0,0418	0,256	0,298
2 4	0,224	0,1177	0,0075	0,0511	0,0304	0,176	0,207
5	0,168	0,0831	0,0052	0,0400	0,0228	0,128	0,151
7 8	0,112	0,0529	0,0033	0,0239	0,0179	0,080	0,098
9 10	0,056	0,0256	0,0016	0,0113	0,0081	0,039	0,047
12	0,028	0,0126	0,0007	0,0056	0,0059	0,019	0,025
13	—	—	—	—	—	?	0,006
14	—	—	—	—	—	?	0,006
				1884			
15	0,448	0,1821	0,1279		0,0437	0,310	0,354
17 18	0,336	0,1473	0,0133	0,0645	0,0234	0,225	0,249
20	0,224	0,1020	0,0073	0,0380	0,0196	0,147	0,167
21 22	0,112	0,0474	0,0036	0,0219	0,0084	0,073	0,081
23	0,056	0,0224	0,0023	0,0107	0,0066	0,031	0,042
				1885			
26	0,224	0,1244	0,0551		?	0,180	?
27	0,112	0,0527	0,0208		?	0,074	?
29	—	—	—		—	?	0,005
30	—	—	—		—	?	0,004

Avoine.

a) Dans les grains de semence :

1883	0gr,005
1884	0 ,005
1885	0 ,005

b) Dans la récolte :

NUMÉROS des vases.	AZOTE sous forme de nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	ENSEMBLE de la partie aérienne.	TOTAL pour la plante entière.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
1883							
35	0,336	0,1863	0,0149	0,0662	0,0357	0,267	0,303
36, 37	0,224	0,1168	0,0098	0,0447	0,0280	0,171	0,199
38	0,168	0,0839	0,0067	0,0308	0,0239	0,121	0,145
40, 41	0,112	0,0536	0,0039	0,0224	0,0176	0,080	0,098
42, 43	0,056	0,0273	0,0019	0,0114	0,0092	0,041	0,050
45	—	—	—	—	—	?	0,005
46	—	—	—	—	—	?	0,005
1884							
47, 49	0,224	0,1328	0,0086	0,0272	0,0159	0,169	0,185
50, 51	0,112	0,0584	0,0028	0,0149	0,0142	0,076	0,090
53, 55	0,056	0,0257	0,0012	0,0082	0,0099	0,035	0,045
1885							
56	0,224	0,1374	0,0379		?	0,175	?
58	0,112	0,0672	0,0195		?	0,087	?
60	—	—	—		—	?	0,006
61	—	—	—		—	?	0,006

Pois.

a) Dans les grains de semence :

1883. . . . . 0gr,018
1884. . . . . 0 ,014
1885. . . . . 0 ,016

b) Dans la récolte :

<table>
<tr><th>NUMÉROS des vases.</th><th>AZOTE sous forme de nitrate de chaux.</th><th>GRAINS.</th><th>BALLES.</th><th>PAILLE.</th><th>RACINES.</th><th>ENSEMBLE de la partie aérienne.</th><th>TOTAL pour la plante entière.</th></tr>
<tr><td></td><td>Gr.</td><td>Gr.</td><td>Gr.</td><td>Gr.</td><td>Gr.</td><td>Gr.</td><td>Gr.</td></tr>
<tr><td colspan="8">1883</td></tr>
<tr><td>66</td><td>0,336</td><td>0,0953</td><td colspan="2">0,0541</td><td>0,0421</td><td>0,149</td><td>0,192</td></tr>
<tr><td>67</td><td>0,224</td><td>0,0856</td><td colspan="2">0,0647</td><td>0,0490</td><td>0,150</td><td>0,199</td></tr>
<tr><td>71</td><td>0,112</td><td>0,0902</td><td colspan="2">0,0420</td><td>0,0384</td><td>0,132</td><td>0,171</td></tr>
<tr><td>72</td><td>0,112</td><td>0,0710</td><td>0,0041</td><td>0,0921</td><td>0,0419</td><td>0,167</td><td>0,209</td></tr>
<tr><td>74</td><td>0,056</td><td>0,0167</td><td colspan="2">0,0300</td><td>0,0255</td><td>0,047</td><td>0,072</td></tr>
<tr><td>76</td><td>—</td><td colspan="3">0,0209</td><td>0,0228</td><td>0,021</td><td>0,044</td></tr>
<tr><td>78</td><td>—</td><td>0,0284</td><td colspan="2">0,0187</td><td>0,0569</td><td>0,047</td><td>0,104</td></tr>
<tr><td>79</td><td>—</td><td>0,0330</td><td colspan="2">0,0434</td><td>0,0150</td><td>0,076</td><td>0,091</td></tr>
<tr><td colspan="8">1884</td></tr>
<tr><td>80</td><td>0,336</td><td>0,1694</td><td>0,0081</td><td>0,0331</td><td>0,0293</td><td>0,211</td><td>0,240</td></tr>
<tr><td>81</td><td>0,280</td><td>0,1325</td><td>0,0061</td><td>0,0586</td><td>0,0508</td><td>0,197</td><td>0,248</td></tr>
<tr><td>83</td><td>0,224</td><td>0,1047</td><td>0,0079</td><td>0,0793</td><td>—</td><td>0,192</td><td>?</td></tr>
<tr><td>84</td><td>0,168</td><td>0,1371</td><td>0,0062</td><td>0,0365</td><td>0,0448</td><td>0,230</td><td>0,275</td></tr>
<tr><td>85</td><td>0,112</td><td>0,3168</td><td colspan="2">0,1049</td><td>0,0524</td><td>0,422</td><td>0,474</td></tr>
<tr><td>87</td><td>0,056</td><td>0,2140</td><td>0,0085</td><td>0,0847</td><td>0,0581</td><td>0,307</td><td>0,365</td></tr>
<tr><td>89</td><td>0,028</td><td>0,1697</td><td colspan="2">0,1067</td><td>0,0461</td><td>0,276</td><td>0,323</td></tr>
<tr><td>90</td><td>—</td><td>0,6471</td><td colspan="2">0,2209</td><td>0,0812</td><td>0,868</td><td>0,949</td></tr>
<tr><td>91</td><td>—</td><td>0,0856</td><td>0,0040</td><td>0,0361</td><td>0,0202</td><td>0,126</td><td>0,146</td></tr>
<tr><td colspan="8">1885</td></tr>
<tr><td>94</td><td>0,112</td><td>0,5290</td><td colspan="2">0,1190</td><td>0,0516</td><td>0,648</td><td>0,700</td></tr>
<tr><td>95</td><td>0,112</td><td>0,3668</td><td>0,0100</td><td>0,0878</td><td>0,0395</td><td>0,465</td><td>0,504</td></tr>
<tr><td>98</td><td>0,112</td><td>0,3639</td><td colspan="2">0,0686</td><td>0,0373</td><td>0,433</td><td>0,470</td></tr>
<tr><td>102</td><td>—</td><td>0,3019</td><td>0,0091</td><td>0,0657</td><td>0,0104</td><td>0,377</td><td>0,387</td></tr>
<tr><td>104</td><td>—</td><td>0,0637</td><td>0,0040</td><td>0,2039</td><td>0,0124</td><td>0,092</td><td>0,104</td></tr>
<tr><td>105</td><td>—</td><td>0,6617</td><td colspan="2">0,5128</td><td>0,1088</td><td>1,174</td><td>1,283</td></tr>
<tr><td>108</td><td>—</td><td>0,2460</td><td>0,0074</td><td>0,0500</td><td>0,0243</td><td>0,304</td><td>0,328</td></tr>
<tr><td>109</td><td>—</td><td>0,5878</td><td colspan="2">0,1828</td><td>0,0681</td><td>0,771</td><td>0,839</td></tr>
<tr><td>111</td><td>—</td><td>0,2648</td><td colspan="2">0,0416</td><td>0,0166</td><td>0,306</td><td>0,323</td></tr>
<tr><td>112</td><td>—</td><td>0,2097</td><td colspan="2">0,0595</td><td>0,0159</td><td>0,269</td><td>0,285</td></tr>
<tr><td>113</td><td>—</td><td>0,2176</td><td>0,0084</td><td>0,0479</td><td>0,0247</td><td>0,274</td><td>0,299</td></tr>
<tr><td>115</td><td>—</td><td>0,0271</td><td>0,0042</td><td>0,0100</td><td>0,0092</td><td>0,041</td><td>0,051</td></tr>
</table>

V.

Nous espérons que, malgré le nombre considérable de chiffres que nous avons été forcés de donner ici, on se convaincra sans trop de difficultés, qu'ils confirment d'une façon précise et sans exception les expériences faites dans nos premières recherches et mentionnées plus haut.

Sans sortir un instant du terrain expérimental, on pourra tirer les conclusions suivantes :

a) La végétation de l'orge et de l'avoine a toujours été dans un rapport étroit avec la quantité de nitrate mélangée au sol.

Chacun de nos vases pourrait servir à la démonstration, mais nous devons nous en tenir à relever spécialement les points suivants :

α. Sans addition de nitrate, la production, dans le cas de l'orge et de l'avoine, fut toujours à peu près nulle.

Quoique les plantes, dont il est question là, aient végété aussi longtemps que des plantes normales et soient parvenues à développer un épi, le poids de la substance sèche de toutes leurs parties aériennes s'éleva :

Dans l'orge (nos 13, 14, 29 et 30)	de 0gr,059 à 0gr,093
Dans l'avoine (nos 45, 46, 60 et 61)	de 0 ,052 à 0 ,096

β. Dans un volume donné de sol de culture, le rendement maximum ne fut atteint que sous l'influence d'une forte dose déterminée de nitrate fournie au sol.

Dans nos premiers essais le volume du sable était plus faible (les vases n'en contenaient que 4 kilogr.) et souvent nous avons donné de fortes doses de nitrate. Comme nous l'avons dit plus haut, il nous a été démontré en procédant ainsi que le rendement de l'orge dans ces vases ne peut pas beaucoup dépasser 25 grammes en substance sèche et que ce rendement maximum peut toujours être facilement obtenu par une dose équivalant à 20 milligr. d'azote et même peut-être un peu plus faible.

Dans les expériences que nous venons de rapporter (Expériences de 1883 à 1885), nous nous sommes servi de vases un peu plus grands,

contenant $4^{kg},600$ de sable, et dans six cas seulement, pour l'orge, dans les vases n°s 1, 15, 16, 17, 18 et pour l'avoine dans le vase n° 35, nous avons donné des nitrates en quantité considérable ; mais ce petit nombre de numéros suffit, comme va le montrer le groupement suivant, à faire clairement reconnaître que le rendement maximum atteint pour l'orge, donnant environ 28 grammes de substance sèche, ne put pas être obtenu par des doses données au sol, sous forme de nitrate de chaux, inférieures à $0^{gr},300$ d'azote en chiffres ronds.

γ. Tout le temps que nos doses de nitrates ont oscillé entre des quantités correspondant à un poids de 300 à 0 milligr. d'azote, c'est-à-dire tant qu'elles n'ont pas dépassé les limites dans lesquelles l'azote contenu dans le sol devenait un facteur minimum de la végétation, non seulement le rendement s'est constamment abaissé avec la diminution des doses de nitrates, mais la même quantité de ces nitrates a toujours produit à peu près le même rendement. Cette observation a été confirmée tant par les vases de contrôle végétant à côté des autres dans chaque expérience que par les cultures diverses, qui ont été faites chaque année.

Ce n'est pas sans dessein que nous avons joint les rapports morphologiques de nos récoltes à la description de toutes nos expériences. Ils rendent manifeste l'influence qu'exercent chaque année les variations de la température sur le développement des plantes au point de vue de leur hauteur, de l'abondance des tiges, de la formation des grains, de la production de la paille, etc. En somme, il a été récolté :

DOSE D'AZOTE donnée sous forme de nitrate.	ANNÉE de l'expérience.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE SÈCHE de la partie aérienne. Quantité.	Moyenne.
Gr.			Gr.	Gr.
		ORGE		
0,448	1884	15	31,035	27,564
		16	24,093	
0,336	1883	1	29,343	27,577
	1884	17	26,817	
		18	26,572	
0,224	1883	2	21,074	21,433
		3	20,460	
		4	21,726	
	1884	20	20,396	
	1885	25	21,560	
		26	23,381	
0,168	1883	5	16,388	16,388
0,112	1883	7	10,805	10,789
		8	10,802	
	1884	21	10,210	
		22	10,093	
	1885	27	11,230	
		28	10,927	
		31	11,019	
		32	11,251	
		33	11,236	
		34	10,319	
0,056	1883	9	5,594	5,562
		10	5,704	
		11	5,322	
	1884	23	5,628	
0,028	1883	12	2,995	2,995
0,000	1883	13	0,508	0,529
		14	0,415	
	1885	29	0,650	
		30	0,544	
		AVOINE		
0,336	1883	35	30,175	30,175
0,224	1883	36	21,273	21,990
		37	21,441	
	1884	47	22,730	
		48	21,407	
		49	21,943	
	1885	56	22,757	
		57	22,376	
0,168	1883	38	15,997	15,997
0,112	1883	40	10,981	11,140
		41	10,941	
	1884	50	10,694	
		51	11,058	
		52	9,890	
	1885	58	12,545	
		59	11,277	
		62	11,699	
		63	11,793	
		64	9,742	
		65	11,920	
0,056	1883	42	5,902	5,616
		43	5,851	
		44	5,287	
	1884	53	5,726	
		54	5,128	
		55	5,799	
0,000	1883	45	0,361	0,511
		46	0,419	
	1885	60	0,671	
		61	0,592	

δ. Enfin, restant toujours dans ces mêmes limites où la nutrition azotée est à son minimum d'action comme facteur de la végétation, chaque partie en poids de nitrate donnée a toujours produit à peu près le même supplément de récolte, qu'on le fournisse aux plantes en plus ou moins grande quantité ; en sorte qu'il semble permis d'exprimer approximativement, par des chiffres, l'effet produit par la nutrition azotée sur les graminées.

Quoique les expériences, dont nous rendons compte, ne soient pas encore assez nombreuses, cependant elles démontrent clairement que pour l'orge ce chiffre approche de 93 et qui est un peu plus élevé pour l'avoine, soit environ de 96, ce que prouve le tableau suivant :

AZOTE donné au sol.	SUBSTANCE sèche de la partie aérienne.	SUPPLÉMENT d'azote.	SUPPLÉMENT de rendement.	PRODUIT de 1 milligr. d'azote en supplément de récolte.
Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Milligr.
		ORGE.		
0,000	0,529	—	—	—
0,056	5,562	+ 0,056	+ 5,033	1 : 90
0,112	10,789	+ 0,056	+ 5,227	1 : 93
0,224	21,433	+ 0,112	+ 10,644	1 : 95
		Moyenne		1 : 93
		AVOINE.		
0,000	0,511	—	—	—
0,056	5,616	+ 0,056	+ 5,105	1 : 91
0,112	11,140	+ 0,056	+ 5,524	1 : 99
0,224	21,990	+ 0,112	+ 10,850	1 : 97
		Moyenne		1 : 96

Quoique ces chiffres ne soient et ne puissent être qu'approximatifs, il en résulte déjà que la substance des plantes n'est pas formée d'une combinaison chimique uniforme, mais que, suivant les cas, la teneur en azote peut y varier dans certaines limites, indication qui nous

semble n'être pas sans importance, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue particulier de la pratique.

b) Rien n'indique que l'orge et l'avoine pussent puiser de l'azote en quantité notable à d'autres sources que celles que fournissaient le grain au début de l'expérience, puis le sol et les nitrates mis à leur disposition.

En effet,

α. Dans les récoltes, qu'on a obtenues pour l'orge et l'avoine, il a été retrouvé, sans exception, moins d'azote que les plantes n'en avaient évidemment reçu, depuis le commencement de l'expérience, par les sources que nous venons d'indiquer.

Voici les résultats de nos analyses :

NUMÉROS des vases.	AZOTE FOURNI		AZOTE RETROUVÉ dans la		DIFFÉRENCE ENTRE L'AZOTE RETROUVÉ dans la matière sèche et l'azote donné			
					en nitrate et semence		en nitrate, semence et sol	
	par nitrate donné et semence.	par nitrate donné, semence et sol.	substance sèche de la partie aérienne.	plante entière.	partie aérienne.	plante entière.	partie aérienne.	plante entière.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
				ORGE.				
				1883.				
1	0,340	0,365	0,256	0,298	— 0,084	— 0,042	— 0,109	— 0,067
2, 4	0,228	0,253	0,176	0,207	— 0,052	— 0,021	— 0,077	— 0,046
5	0,172	0,197	0,128	0,151	— 0,044	— 0,021	— 0,069	— 0,046
7, 8	0,116	0,141	0,080	0,093	— 0,036	— 0,018	— 0,061	— 0,043
9, 10	0,060	0,085	0,039	0,047	— 0,021	— 0,013	— 0,046	— 0,038
12	0,032	0,057	0,019	0,025	— 0,113	— 0,007	— 0,038	— 0,032
13	0,004	0,029	?	0,006	?	+ 0,002	?	— 0,023
14	0,004	0,029	?	0,006	?	+ 0,002	?	— 0,023
				1884.				
15	0,452	0,477	0,310	0,354	— 0,142	— 0,098	— 0,167	— 0,123
17, 18	0,340	0,365	0,225	0,249	— 0,115	— 0,091	— 0,140	— 0,116
20	0,228	0,253	0,147	0,167	— 0,081	— 0,061	— 0,106	— 0,086
21, 22	0,116	0,141	0,073	0,081	— 0,043	— 0,035	— 0,068	— 0,060
23	0,060	0,085	0,036	0,042	— 0,024	— 0,018	— 0,049	— 0,043
				1885.				
26	0,228	0,253	0,180	?	— 0,048	?	— 0,073	?
27	0,116	0,141	0,074	?	— 0,042	?	— 0,067	?
29	0,004	0,029	?	0,005	?	0,000	?	— 0,024
30	0,004	0,029	?	0,004	?	— 0,001	?	— 0,025

NUMÉROS des vases.	AZOTE FOURNI par nitrate donné et semence.	AZOTE FOURNI par nitrate donné, semence et sol.	AZOTE RETROUVÉ dans la substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante entière.	DIFFÉRENCE ENTRE L'AZOTE RETROUVÉ dans la substance sèche et l'azote donné en nitrate et semence — partie aérienne.	en nitrate et semence — plante entière.	en nitrate, semence et sol — partie aérienne.	en nitrate, semence et sol — plante entière.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
				AVOINE.				
				1883.				
35	0,341	0,366	0,267	0,303	— 0,074	— 0,038	— 0,099	— 0,063
36 37	0,229	0,254	0,171	0,199	— 0,058	— 0,030	— 0,083	— 0,055
38	0,173	0,198	0,121	0,145	— 0,052	— 0,028	— 0,077	— 0,053
40 41	0,117	0,142	0,080	0,098	— 0,037	— 0,019	— 0,062	— 0,044
42 43	0,061	0,086	0,041	0,050	— 0,020	— 0,011	— 0,045	— 0,036
45	0,005	0,030	?	0,005	?	0,000	?	— 0,025
46	0,005	0,030	?	0,005	?	0,000	?	— 0,025
				1884.				
47 49	0,229	0,254	0,169	0,185	— 0,060	— 0,044	— 0,085	— 0,069
50 51	0,117	0,142	0,076	0.090	— 0,041	— 0,027	— 0,066	— 0,052
53 55	0,061	0,086	0,035	0,045	— 0,026	— 0,016	— 0,051	— 0,041
				1885.				
56	0,229	0,254	0,175	?	— 0,054	?	— 0,079	?
58	0,117	0,142	0,087	?	— 0,030	?	— 0,055	?
60	0,005	0,030	?	0,006	?	+ 0,001	?	— 0,024
61	0,005	0,030	?	0,006	?	+ 0,001	?	— 0,024

Les différences existant entre les quantités d'azote données en solution au sol dès le début de l'expérience et fournies par la semence et celles qui ont été retrouvées dans la récolte, portent sans exception un signe négatif, ainsi qu'on peut le voir dans la dernière colonne de ce tableau.

Cependant nous avons, avec intention, admis en principe ici pour le calcul de l'azote contenu dans le sol, le plus haut chiffre trouvé dans nos déterminations et fourni par une seule analyse, soit $5^{mg},4$ d'azote par kilogramme de sable ou 25 milligrammes d'azote pour $4^{kg},600$.

On peut toutefois se convaincre facilement que rien n'aurait été changé si, au lieu de ce chiffre, on eût indiqué le chiffre moyen résultant de toutes les déterminations faites.

La 3e colonne montre que dans deux cas seulement pour l'orge et pour l'avoine, il a été retrouvé plus d'azote qu'il n'en existait dans la

solution et dans la semence, 2 milligrammes dans le premier cas et 1 milligramme dans le second ; mais cette augmentation est si faible qu'on est en droit de douter si elle résulte d'une erreur inévitable dans les déterminations de l'analyse ou si elle vient de traces d'azote contenues dans le sol.

β. Non seulement le rendement s'est constamment abaissé en suivant la diminution du nitrate, mais aussi la teneur en azote des produits récoltés a toujours été diminuant.

Cette observation, croyons-nous, explique mieux que toute autre l'état d'inanition croissant des plantes soumises à des conditions déterminées.

Quoique la démonstration de cette proposition ne saute pas partout aux yeux, dans les tableaux qui indiquent la proportion centésimale de l'azote dans chaque récolte en particulier, il en ressort néanmoins, en principe, que chacune des parties de la plante, grains, balles et paille, varie non seulement dans sa teneur en azote mais aussi dans son poids relatif. Le tableau qui suit le fera mieux comprendre :

AZOTE donné sous forme de nitrate de chaux.	ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE sèche de la partie aérienne.	TOTAL de l'azote qui y a été trouvé.	PROPORTION DE L'AZOTE contenu dans la partie aérienne	
					P. 100.	en moyenne.
Gr.			Gr.	Gr.		P. 100.
			ORGE			
0,448	1884	15	31,035	0,310	1.00	1.00
0,336	1883	1	29,343	0,256	0.87	0.86
	1884	17, 18	26,695	0,225	0.84	
0,224	1883	2, 4	21,400	0,176	0.82	0.77
	1884	20	20,396	0,147	0.72	
	1885	26	23,384	0,180	0.77	
0,168	1883	5	16,388	0,128	0.78	0.78
0,112	1883	7, 8	10,803	0,080	0.74	0.74
	1884	21, 22	10,151	0,073	0.72	
	1885	27	11,230	0,074	0.66	
0,056	1883	9, 10	5,650	0,039	0 69	0.67
	1884	23	5,628	0,036	0 64	
0,028	1883	12	2,995	0,019	0.63	0.63

AZOTE donné sous forme de nitrate de chaux.	ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE sèche de la partie aérienne.	TOTAL de l'azote qui y a été trouvé.	PROPORTION DE L'AZOTE contenu dans la partie aérienne	
					P. 100.	en moyenne.
Gr.			Gr.	Gr.		P. 100.
			AVOINE			
0,336	1883	35	30,175	0,267	0.89	0.89
	1883	36, 37	21,357	0,171	0.80	
0,224	1884	47, 49	22,336	0,169	0.76	0.78
	1885	56	22,757	0,175	0.77	
0,168	1883	38	15,997	0,121	0.76	0.76
	1883	40, 41	10,961	0,080	0.73	
0,112	1884	50, 51	10,876	0,076	0.70	0.71
	1885	58	12,545	0,087	0.69	
	1883	42, 43	5,876	0,041	0.70	
0,056						0.66
	1884	53, 55	5,762	0,035	0.61	

c) La végétation des pois, dans nos expériences, non seulement n'a pas montré la même relation étroite avec les doses de nitrate données au sol, mais n'a jamais été clairement dans un rapport déterminé avec elles.

En effet,

α. Dans un sol ne révélant pas de traces de nitrates et renfermant de l'azote en proportion si minime qu'il pouvait être considéré comme en étant dépourvu, les pois non seulement ont végété de façon normale mais se sont développés avec une vigueur luxuriante.

En voici des exemples :

AZOTE DONNÉ sous forme de nitrate de chaux.	ANNÉES.	NUMÉROS des vases d'expérience.	SUBSTANCE SÈCHE donnée par la partie aérienne.
0	1883	79	5gr,233
0	1884	90	28 ,483
0	1885	105	33 ,147
0	1885	109	27 ,816

β. Il suit de là que l'azote du sol ne montra jamais, dans quelque mesure que ce fût, son influence sur la végétation des pois et que la

privation de nitrates ne détermina pas plus une diminution dans les rendements, que son addition ne donna une élévation de la récolte.

Un simple coup d'œil jeté sur les expériences dont nous rendons compte plus haut suffira pour le démontrer.

γ. Des doses égales d'azote fournies au sol ont produit des rendements aussi inégaux que possible, tant dans les différentes années, où les expériences ont été faites, que dans les essais de contrôle dans les vases placés près des autres et qui étaient dans des conditions de végétation exactement semblables.

Exemple :

AZOTE DONNÉ sous forme de nitrate de chaux.	ANNÉE.	NUMÉROS DES VASES.	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la partie aérienne.
Gr.			Gr. Gr.
0,224	1883	67 et 68	6,646 et 9,725
»	1884	82 et 83	9,337 — 11,579
0,112	1883	70 à 72	4,915 à 9,767
»	1884	85 et 86	8,467 — 18,693
»	1885	94 à 101	16,955 — 22,360
0,056	1883	73 à 75	0,978 à 4,128
»	1884	87 et 88	9,155 — 14,046
0,000	1883	76 à 79	0,551 à 5,233
»	1884	90 et 91	7,186 et 28,483
»	1885	102 à 117	1,718 — 33,147

δ. En conséquence, il ne pouvait être question, dans la voie que nous suivions, de chercher à déterminer, par des chiffres, l'influence d'une quantité quelconque d'azote sur la végétation des pois.

d) A côté de l'azote qui était mis à leur disposition dans le sol au début de l'expérience, les pois ont trouvé une autre source d'alimentation, dans laquelle ils ont pu puiser des quantités considérables de nourriture.

En effet,

α. Dans les récoltes des pois, souvent il a été retrouvé manifestement plus d'azote que n'en accusaient le nitrate donné, la semence et le sol.

Établissant donc le bilan de l'azote, comme nous l'avons fait plus haut pour l'orge et pour l'avoine, il en ressort le tableau suivant :

NUMÉROS des vases.	AZOTE FOURNI par les		AZOTE RETROUVÉ dans la substance sèche		DIFFÉRENCES ENTRE L'AZOTE RETROUVÉ dans la substance sèche et l'azote donnée			
					en nitrates et semences		en nitrates, semence et sol,	
	nitrates donnés et semence.	nitrates donnés, semence et sol.	de la partie aérienne.	de la plante entière.	partie aérienne.	plante entière.	partie aérienne.	plante entière.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
				POIS.				
				1883				
66	0,354	0,379	0,149	0,192	— 0,205	— 0,162	— 0,230	— 0,187
67	0,242	0,267	0,150	0,199	— 0,092	— 0,043	— 0,117	— 0,068
71	0,130	0,155	0,132	0,171	+ 0,002	+ 0,041	— 0,023	+ 0,016
72	0,130	0,155	0,167	0,209	+ 0,037	+ 0,079	+ 0,012	+ 0,054
74	0,074	0,099	0,047	0,072	— 0,027	— 0,002	— 0,052	— 0,027
76	0,046	0,071	0,021	0,044	— 0,025	— 0,002	— 0,050	— 0,027
78	0,018	0,043	0,047	0,104	+ 0,029	+ 0,086	+ 0,004	+ 0,061
79	0,018	0,013	0,076	0,091	+ 0,058	+ 0,073	+ 0,033	+ 0,048
				1884				
80	0,350	0,375	0,211	0,240	— 0,139	— 0,110	— 0,164	— 0,135
81	0,280	0,305	0,197	0,248	— 0,083	— 0,032	— 0,108	+ 0,057
83	0,238	0,263	0,192	?	— 0,046	?	— 0,071	?
84	0,182	0,207	0,230	0,275	+ 0,048	+ 0,093	+ 0,023	+ 0,063
85	0,126	0,151	0,422	0,474	+ 0,296	+ 0,348	+ 0,271	+ 0,323
87	0,070	0,095	0,307	0,365	+ 0,237	+ 0,295	+ 0,212	+ 0,270
89	0,042	0,067	0,276	0,323	+ 0,234	+ 0,281	+ 0,209	+ 0,256
90	0,014	0,039	0,868	0,949	+ 0,854	+ 0,935	+ 0,829	+ 0,910
91	0,014	0,039	0,126	0,146	+ 0,112	+ 0,132	+ 0,087	+ 0,107
				1885				
94	0,128	0,153	0,648	0,700	+ 0,520	+ 0,572	+ 0,495	+ 0,547
95	0,128	0,153	0,465	0,501	+ 0,337	+ 0,376	+ 0,312	+ 0,351
98	0,128	0,153	0,433	0,470	+ 0,305	+ 0,342	+ 0,280	+ 0,317
102	0,016	0,041	0,377	0,387	+ 0,361	+ 0,371	+ 0,336	+ 0,346
104	0,016	0,041	0,092	0,104	+ 0,076	+ 0,088	+ 0,051	+ 0,063
105	0,016	0,041	1,174	1,283	+ 1,158	+ 1,267	+ 1,133	+ 1,242
108	0,016	0,041	0,304	0,328	+ 0,288	+ 0,312	+ 0,263	+ 0,287
109	0,016	0,041	0,771	0,839	+ 0,755	+ 0,823	+ 0,730	+ 0,798
111	0,016	0,041	0,306	0,323	+ 0,290	+ 0,307	+ 0,265	+ 0,282
112	0,016	0,041	0,269	0,285	+ 0,253	+ 0,269	+ 0,228	+ 0,244
113	0,016	0,041	0,274	0,299	+ 0,258	+ 0,283	+ 0,233	+ 0,258
115	0,016	0,041	0,014	0,051	+ 0,025	+ 0,035	0,000	+ 0,010

Il nous suffit de faire remarquer, qu'ici aussi, on a porté en compte la plus forte quantité d'azote contenue dans le sol et trouvée dans une seule analyse, soit 5^{mg},4 par kilogramme de sable ou 25 milligr. pour les 4^{k},600 que renfermait chaque vase.

β. La teneur relative en azote des produits récoltés sur les pois n'a pas baissé régulièrement avec la diminution de nitrate dans le sol. Au contraire certaines de nos plantes, qui avaient crû dans un

sol à peu près complètement dépourvu d'azote, non seulement ont montré la plus haute teneur dans toutes nos expériences, mais ont visiblement dépassé la moyenne d'azote des produits des champs, obtenus par la grande culture.

Un tableau, semblable à celui que nous avons dressé pour l'orge et pour l'avoine, montrera même clairement qu'aucun état de disette ne s'est révélé dans les pois, comme conséquence de la privation de nitrate.

AZOTE donné sous forme de nitrate de chaux.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE sèche de la partie aérienne.	AZOTE qui y a été retrouvé.	PROPORTION D'AZOTE contenue dans la substance sèche de la partie aérienne. P. 100.	Moyenne.
Gr.		Gr.	Gr.		P. 100.
		POIS			
		1883			
0,336	66	11,352	0,149	1.31	1.31
0,224	67	9,725	0,150	1.54	1.54
0,112	71	9,767	0,132	1.35	1.66
»	72	8,497	0,167	1.97	
0,056	74	4,128	0,047	1.14	1.14
0,028	76	1,756	0,021	1.20	1.20
0,000	78	3,496	0,047	1.34	1.40
»	79	5,233	0,076	1.45	
		1884			
0,336	80	9,619	0,211	2.19	2.19
0,224	83	11,579	0,192	1.66	1.66
0,112	85	18,693	0,422	2.26	2.26
0,056	87	14,046	0,307	2.19	2.19
0,028	89	13,811	0,276	2.00	2.00
0,000	90	28,483	0,868	3.05	2.40
»	91	7,186	0,126	1.75	
		1885			
0,112	94	22,360	0,648	2.90	2.58
»	95	16,955	0,465	2.74	
»	98	20,653	0,433	2.10	
0,000	102	12,091	0,377	3.12	2.69
»	104	3,790	0,092	2.43	
»	105	33,147	1,174	3.54	
»	108	11,136	0,304	2.73	
»	109	27,816	0,771	2.77	
»	111	12,751	0,306	2.40	
»	112	11,417	0,269	2.36	
»	113	11,208	0,274	2.44	
»	115	1,718	0,041	2.39	

e) Dans les expériences précédemment décrites, la légumineuse (*pisum*), placée dans les mêmes conditions absolues de végétation au point de vue de l'assimilation de l'azote, s'est comportée d'une façon typique et complètement différente de celle des deux graminées (*hordeum* et *avena*).

VI.

Ainsi s'était close l'année 1885 : les résultats des premières expériences s'étaient confirmés sans aucune exception, seulement avec plus de précision encore. Il était acquis de la façon la plus claire que les légumineuses se comportent autrement que les graminées, relativement à l'assimilation de l'azote, et que des sources de cet aliment, fermées pour celles-ci, sont à la disposition des premières. Enfin pour les pois, nous avions vu se répéter, dans nos essais de contrôle, les irrégularités et les contradictions frappantes, que nous avions précédemment relevées. En chercher plus longtemps la cause dans quelque défaut de notre méthode nous sembla aussi inutile que superflu, puisque, avec son aide, nous avions obtenu, pour l'orge et pour l'avoine, des résultats exactement concordants, dès que ces deux plantes étaient placées dans des conditions absolument semblables.

La première de ces constatations nous invitait et la seconde nous obligeait à faire un pas de plus pour découvrir la propriété particulière qu'ont les légumineuses de s'assimiler l'azote libre ; mais comment ? et dans quelle direction ?

Nous avions remarqué, comme nous l'avons dit plus haut, que les conclusions tirées de nos premières expériences ne nous permettaient pas d'expliquer les résultats obtenus, en dehors des hypothèses faites jusque-là sur l'assimilation de l'azote par les légumineuses. Depuis ce temps, il était sans doute intervenu de nouveaux, de précieux travaux, mais nous n'étions en réalité pas beaucoup plus avancés.

Jetons un coup d'œil rapide sur les éléments de discussion à notre disposition. Quatre hypothèses différentes avaient été posées l'une après l'autre. D'abord on recourut à une explication simple du phénomène, en supposant que les légumineuses pouvaient assimiler

directement l'azote libre de l'atmosphère, comme elles le font pour l'acide carbonique.

Ensuite on attribua à ces plantes la faculté exceptionnelle, grâce à leur puissant feuillage et à leur période de végétation plus longue, d'accumuler et de s'approprier, mieux que les graminées et toutes les autres espèces de plantes, les faibles quantités d'azote existant en combinaison dans l'atmosphère.

Plus tard, on affirma que les légumineuses, favorisées par un réseau de racines qui pénètre profondément en terre, pouvaient puiser l'azote nécessaire dans les couches profondes du sous-sol, qui ne sont pas accessibles aux autres plantes cultivées.

Enfin, on nia généralement que les légumineuses fussent différentes des autres plantes au point de vue de l'assimilation de l'azote et on chercha à expliquer l'enrichissement du sol en disant que ces plantes par leur vie même entretenaient dans la terre certaines combinaisons azotées, tout à fait indépendantes d'elles et qu'elles les empêchaient de se perdre dans le sol.

La dernière tentative faite en vue d'expliquer l'allure particulière des légumineuses, par un pouvoir exceptionnel d'assimilation de l'azote libre pris à l'atmosphère, fut réfutée définitivement par les expériences de Boussingault, Lawes, Gilbert, Pugh, etc., et cette hypothèse ne peut plus, en général, être mise en ligne de compte.

Quant à la seconde affirmation qui attribue aux légumineuses, plus qu'aux plantes d'autres familles, la faculté de s'approprier l'azote existant à l'état de combinaison dans l'air et de s'en nourrir, rien non plus ne la confirma dans nos expériences. La quantité d'azote en combinaison, contenue dans l'atmosphère, est fort minime, tandis que l'excédent d'azote trouvé, au moins dans quelques-unes de nos plantes, telles que les pois des vases n°s 90, 105 et 109, excédent qu'elles avaient assimilé durant leur végétation, était tellement élevé, que les combinaisons azotées de l'air pouvaient en être regardées seulement comme la source la moins importante. On opposa à cette constatation que nos plantes croissant à l'air libre pouvaient utiliser des quantités illimitées d'air en mouvement, ou au moins des quantités si grandes, qu'il était possible pour elles de puiser des combinaisons azotées en proportion suffisante pour

leur alimentation. S'il en était ainsi, comment expliquer que l'orge et l'avoine placées dans des conditions aussi favorables que les pois n'en aient absolument fait aucun usage, alors que les expériences de A. Mayer sur le blé, de Th. Schlœsing sur le tabac ont démontré que ces plantes ont la faculté d'absorber l'ammoniaque par leur feuillage et de l'assimiler à un degré bien plus élevé encore que les pois et les fèves. Mais de plus, complètement inexplicable serait la raison pour laquelle dans 18 de nos vases de pois, placés au milieu des autres dans les mêmes conditions d'expérience (n°s 90, 91 et de 102 à 117), un seul, en 1884, deux en 1885, n'ayant pour s'alimenter que cette source inépuisable, s'y sont puissamment enrichis, quand d'autres se contentaient d'y prendre des quantités d'azote plus faibles et que quelques-unes enfin avaient l'aspect misérable de plantes mourant de faim.

La troisième hypothèse s'appuyant sur la propriété, qu'auraient, contrairement au reste des plantes, les légumineuses de tirer leur nourriture des couches profondes du sous-sol, tombait d'elle-même devant nos expériences, puisqu'aucun sous-sol n'existait pour elles. Les racines de l'orge et de l'avoine furent toujours aussi belles que celles des pois, jusqu'au moment où, la germination terminée, on les mettait à l'étroit dans de petits vases n'ayant que 24 centimètres de hauteur, et, au jour de la récolte, toutes les plantes mises en expérience n'avaient qu'un sol de faible volume traversé du haut en bas par leurs racines.

Au surplus, à l'aide de cette hypothèse, on n'a pu encore justifier jusqu'ici par aucune expérience concluante la façon particulière dont se comportent les légumineuses.

Les principaux représentants de cette idée, MM. Lawes et Gilbert, l'appuient sur un nombre considérable d'essais faits en plein champ. Les terres de Rothamsted, sur lesquelles depuis 40 années on cultive, sans interruption, graminées, plantes-racines et légumineuses, les unes avec engrais, les autres sans engrais, toutes soumises à un contrôle sévère et continuel, offrent à ces expérimentateurs un matériel de recherches, tel que personne n'en possède au monde. La partie analytique des expériences, dont nous reconnaissons toutes les difficultés, y est l'objet des plus grands soins et de la plus haute

prudence ; aussi les observations faites à Rothamsted doivent-elles être prises en très grande considération. Si je les comprends bien, les résultats, en ce qui touche notre sujet, pourraient se résumer dans les propositions suivantes :

« Quand on cultive sans interruption des graminées dans un terrain, sans l'approvisionner d'engrais azotés, le rendement décroît d'année en année.

« Il en est de même, si des légumineuses s'y succèdent pendant trop longtemps, dans les mêmes conditions.

« Mais, si l'approvisionnement en nitrates, comme adjuvants des autres engrais minéraux nécessaires, peut arrêter l'abaissement des récoltes dans les graminées, il n'en est pas ainsi pour les légumineuses.

« Lorsqu'on cultive, sans apport d'engrais azoté, une graminée dans un même terrain, sans interruption, non seulement la récolte décroît d'une façon constante, mais, chaque année, la réserve en azote du sol s'amoindrit aussi.

« Le cas est le même si, au lieu de graminées, on y cultive des légumineuses ; ces deux variétés de plantes tirent donc du sol l'azote nécessaire à la formation de tous les produits récoltés.

« Mais si l'on compare la quantité d'azote, soustraite à la réserve du sol, avec celle qui est contenue dans les produits de la végétation (ainsi que l'eau de drainage du sol, déduction faite des combinaisons azotées introduites par précipitation météorique), on trouve que dans le champ de graminées les deux valeurs sont à peu près égales, tandis que dans le champ de légumineuses la seconde est très souvent plus grande que la première et parfois très importante.

« En d'autres termes, si l'on établit le bilan de l'azote, la balance est presque toujours égale pour un champ qui a porté des graminées, et dans celui qui a porté des légumineuses, il existe le plus souvent une différence en faveur de l'azote, dont le gain est quelquefois très remarquable.

« Les légumineuses à racines profondes, faisant pénétrer au loin dans le sol les micro-organismes nitrificateurs, favorisent, dans les couches profondes du sous-sol, la transformation des combinaisons azotées non assimilables en combinaisons assimilables, et peuvent

ainsi utiliser à leur profit, dans ces lointaines régions, des approvisionnements d'azote dont l'accès est interdit aux graminées.

« Mais on doit reconnaître que la quantité de nitrate révélée par l'analyse, comme pouvant, dans le cas des légumineuses, être assimilée par cette voie, ne suffit pas à expliquer, dans tous les cas, l'excédent d'azote mentionné plus haut.

« Il est très vraisemblable que les légumineuses ont la faculté de prendre, dans la réserve du sol, certaines combinaisons organiques par la succion des racines, soit directement, soit indirectement et, après les avoir transformées, de se procurer ainsi un supplément d'aliments azotés dans le sous-sol, qui est inaccessible aux graminées. »

Mais jusqu'où peut s'élever ce supplément ? l'expérimentation ne l'a pas encore établi.

En résumé, les expériences faites à Rothamsted démontrent avec toute précision, que les légumineuses, trouvant de l'azote dans le sol, s'en emparent et se l'assimilent aussi bien que les graminées et que, de plus, elles ont la faculté, qui manque à celles-ci, d'utiliser la réserve d'azote du sol en la puisant dans des couches plus profondes et plus lointaines ; mais elles ne prouvent pas, jusqu'à ce jour, que l'approvisionnement du sol soit la source unique et incontestable de l'azote, concourant à former les légumineuses, et que la connaissance de cette source suffise dans tous les cas à expliquer l'allure particulière de ces plantes, non plus que la richesse en azote trouvée dans leurs produits.

Il était moins facile d'en finir avec la quatrième hypothèse qui, jusqu'au début de l'année 1886, avait reçu un assentiment presque général. Suivant celle-ci, il est démontré que l'enrichissement des légumineuses en azote ne s'opère pas directement, mais indirectement, et que les sources de l'excédent d'azote ne doivent pas résider dans les plantes, mais dans le sol.

Examinons cette hypothèse d'un peu plus près, dans ses données générales.

Ceux qui la soutiennent, disent : dans l'atmosphère se trouve toujours une certaine quantité, ne fût-elle que très faible, d'azote en combinaison et le sol a la propriété d'en absorber une partie (*Heinrich*, etc.) ; les poussières atmosphériques ne sont pas dépourvues

d'azote et les précipités météoriques, ainsi que le démontre un certain nombre de travaux connus et faits avec soin, renferment toujours une quantité d'ammoniaque et d'acide nitrique, qui n'est pas à négliger; par l'évaporation de l'eau, l'ammoniaque se transforme aux dépens de l'azote libre élémentaire (de l'air) en acide nitreux et en acide nitrique (Schönbein, Böttcher, v. Gorup-Bezanez Uffelmann, etc.); non seulement de puissantes décharges électriques, mais l'électricité même, qui, sous une moindre tension, existe à la surface de la terre entre le sol et l'atmosphère, peuvent transformer l'azote libre en acide nitrique (Berthelot). Les micro-organismes qui ont de nombreux représentants dans tout sol cultivé peuvent assimiler l'azote libre de l'atmosphère et le déposer dans l'albumen (le périsperme) [Berthelot]. De l'azote que renferme le sol dans les combinaisons organiques complexes, formées par les débris de plantes, la matière humique, etc., une partie se transforme constamment en ammoniaque et celle-ci, ensuite, en acide nitrique sous l'influence qu'exercent les corps poreux (Boussingault), les alcalis ainsi que les terres alcalines (Dumas, de Luca, Cloëz, Wolff, Frank) et les microbes (Schlœsing, Müntz, Warington, Landolt, etc.). En résumé, il est dans la nature nombre de causes toujours en action, tendant à accroître l'approvisionnement du sol en combinaisons azotées assimilables, indépendamment des plantes qui y végètent.

D'un autre côté les précipités météoriques, qui, n'étant pas arrêtés dans la surface cultivée proprement dite, descendent et s'écoulent dans les profondeurs du sous-sol, contiennent toujours des quantités notables d'acide nitrique (Lawes, Gilbert, Warington, Berthelot); dans la transformation en ammoniaque et en acide nitrique des combinaisons organiques azotées, une partie de l'azote se dégage soit comme azote libre, soit comme protoxyde d'azote (König, Morgen, Dietzell, Schlœsing, Warington); de même qu'il est des microbes qui nitrifient l'ammoniaque, il en est aussi qui réduisent l'acide nitrique en acide nitreux, en oxyde d'azote, en protoxyde et même en azote libre (Gayon, Dupetit, Dehérain, Maquenne). D'autres causes tendent incessamment à diminuer dans la réserve du sol les combinaisons azotées assimilables qu'elle contient.

La teneur en azote du sol n'est donc pas une valeur fixe et déter-

minée mais, sous l'influence des facteurs les plus différents, varie d'heure en heure et sans interruption. Le fait de l'enrichissement du sol par les légumineuses peut s'expliquer sans qu'on leur suppose la faculté exceptionnellement propre à elles de s'assimiler l'azote en le puisant ailleurs qu'aux sources qui leur sont accessibles, dès qu'on admet qu'elles ont la propriété de favoriser et même d'entretenir l'action des causes par lesquelles le sol s'enrichit constamment en azote assimilable, en même temps qu'elles empêchent ou même seulement diminuent les pertes incessantes de cet aliment dans le sol.

Quoique nous n'acceptions pas comme également bonnes et suffisamment fondées toutes les observations sur lesquelles repose cette hypothèse[1], je veux faire expressément remarquer tout d'abord qu'il ne me vient pas à l'esprit de contester l'existence de causes influant sur le gain ou sur la perte de l'azote du sol, indépendamment des plantes qui y croissent. Je ne sais pas, en effet, si on se refusait à les admettre, comment on expliquerait la formation de la terre des champs qui, composée originairement par l'effritement des roches de matériaux dépourvus d'azote, se couvre d'un tapis de plantes, s'y succédant sans intervention de la culture ni de la main de l'homme, et accumule dans son sein un approvisionnement notable d'azote. Je crois de plus que ces causes peuvent jouer un rôle dans la pratique agricole et qu'il est pressant autant qu'utile d'expliquer leur action dans toutes les directions.

Mais, tout en reconnaissant ces principes de causalité, il me semble que dans l'état actuel de nos connaissances on doit quelque peu réfléchir avant de prendre leur influence pour base de nos hypothèses. C'est là sans doute un pont commode à jeter sur tous les obstacles qu'on veut franchir et, chaque fois qu'on remarque un accroissement ou une perte d'azote dans le sol, il est plus facile et plus simple de procéder ainsi, tant qu'on sera dans une ignorance aussi complète sur la valeur quantitative de la plupart de ces causes.

Mais c'est précisément la grande commodité que nous y trouvons

1. Les derniers travaux de Landolt, Plath et Baumann ont déjà nettement réfuté, par exemple, le pouvoir nitrifiant qu'on attribuait au carbonate de chaux. On a même fait des objections fondées à la production de l'acide nitrique par l'évaporation de l'eau.

qui doit nous rendre prudent. Avant donc d'accepter l'hypothèse, comme expliquant l'action des légumineuses sur l'enrichissement du sol, nous sommes en droit de souhaiter qu'on détermine et qu'on démontre sans contestation possible : d'abord, que l'action de ces causes est influencée, en effet, par la végétation des légumineuses; puis qu'on nous dise quels sont les facteurs dont l'intervention favorise les gains et entrave les pertes, enfin comment s'exerce cette influence particulière et quel est son degré d'importance.

Maintenant que nous a-t-on offert pour répondre à ces *desiderata ?*

Les cultures expérimentales, faites en vue de l'assimilation de l'azote par les légumineuses, de Dietzell, Atwater, Joulie, Strecker, Frank et v. Wolff, se présentent à nous tout d'abord, et si nous cherchons, abstraction faite de toute hypothèse explicative, quels ont été les résultats réels de leurs expériences, voici ce que nous trouvons.

Atwater a cultivé des pois nains dans du sable de rivière qui avait été porté à la chaleur rouge ; il a donné une solution nutritive convenable, à laquelle il ajouta tantôt plus tantôt moins de nitrate de chaux et de nitrate de potasse. En procédant ainsi il a obtenu en 9 cas, dans les récoltes et, après avoir calculé le poids d'azote demeuré dans le sol, en 11 cas à la fin de l'expérience, douze fois plus d'azote, qu'il n'en existait au début dans la semence et qu'il n'en avait été fourni en dissolution. La quantité d'azote demeurée dans le sol, à la fin de l'expérience, fut sans exception notablement moindre que celle qui avait été donnée au début.

E. Wolff prend un sable de rivière assez grossier et bien nettoyé par le lavage ; tantôt il n'y met rien, tantôt il lui donne un mélange nutritif dépourvu d'azote et, tantôt, ce même mélange est additionné de plus ou de moins de nitrate de potasse. Il cultive dans ce sable différentes espèces de plantes et trouve, dans les produits de l'avoine, constamment moins d'azote qu'il n'en a été fourni par le grain de semence et par l'engrais, tandis que dans les fèves, les lupins, le trèfle rouge et les pois, il en retrouve non seulement plus, mais remarquablement plus. La pomme de terre a donné les mêmes résultats que l'avoine ; les vesces, la serradelle et le *trèfle vulnéraire* se sont comportés comme les légumineuses citées plus haut. Il n'a pas

été déterminé de modifications particulières dans la teneur en azote du sol.

Frank s'est servi d'un sol sableux renfermant de l'humus avec 1 p. 100 d'azote. Une partie a été laissée sans végétation, dans l'autre, il a ensemencé des lupins (lupins et trèfle incarnat). Là il a constaté que partout où la végétation était belle, il y avait un gain important d'azote et que, où elle était mauvaise, il y avait perte. Quant au sol, soit qu'il fût sans végétation, soit que les plantes n'y eussent atteint qu'un faible développement, il avait perdu considérablement d'azote, tandis qu'ayant nourri deux lupins bien venus, il se montra remarquablement enrichi d'azote à la fin de l'expérience.

Joulie, sans addition d'engrais, ou avec des engrais de différentes sortes, a cultivé du sarrasin dans un sol sableux, ne renfermant pas d'argile, puis dans un lehm sablonneux, pendant une période de deux années, du sarrasin, auquel succéda un mélange de trèfles. Dans le premier cas, le bilan de l'azote révéla un faible accroissement, à une exception près et, dans le second cas également, sauf une exception unique, l'excédent trouvé fut considérable. Quant aux modifications qu'aurait subies le sol dans sa teneur en azote, la communication des expériences faites dans les « Comptes rendus de l'Académie des sciences », ne permet pas de s'en rendre compte.

Strecker a fait usage d'un sable de lande très riche en matières organiques et d'une terre de jardin, le premier avec une teneur en azote variant de 1 p. 100 à 7 p. 100 pour mille et la seconde richement pourvue de 1/2 d'azote pour mille. Ajoutant un engrais azoté à une partie, sans en fournir à l'autre, il mit ces terres en observation les unes non ensemencées et les autres plantées de *Lupinus luteus*, *Lupinus albus*, *Termis* ou *Avena trisperma*. Laissant de côté les essais dans lesquels le développement des plantes eut clairement à souffrir de l'alimentation qui leur fut donnée, si on compare les unes aux autres, d'une part les quantités d'azote fournies au sol par la semence et par l'engrais, d'autre part, celles qu'on a retrouvées à la fin de l'expérience tant dans le sol que dans la récolte, on trouve que les lupins cultivés sans engrais dans le sable de lande ont acquis de l'azote en proportion remarquable, mais que partout ailleurs se montre une perte, qui, dans tous les cas correspondants,

est plus grande pour l'avoine mise en expérience que pour les lupins. Quant au sol, il n'indique nulle part un enrichissement en azote, mais la perte qu'il fit au cours de l'expérience, de beaucoup plus forte dans le sol non planté, fut moindre dans celui qui portait de l'avoine et très faible dans celui qui était ensemencé de lupins.

Dietzell a opéré dans une bonne terre de jardin renfermant de 4 à 4 1/2 p. 1000 d'azote. Il ne lui a pas donné d'engrais azoté, mais partiellement de la kaïnite, du superphosphate et du carbonate de chaux ; enfin deux parcelles ont été laissées sans culture et les autres ensemencées de trèfle ou de pois. Le résultat fut, qu'à la fin de l'expérience, dans le sol planté on retrouva, à une seule exception près, constamment moins d'azote, terre et récolte réunies, qu'il n'en avait été fourni, au début, par la semence et l'engrais. Mais le terrain qui n'avait reçu ni aliments ni plantes se montra au contraire considérablement plus riche en azote à la fin de l'expérience qu'au commencement.

Je n'ai pas l'intention et n'éprouve pas le besoin d'entrer dans le détail de ces expériences et de les critiquer ; mais je demande s'il est quelqu'un au monde qui puisse déduire, de leurs résultats, de quelle manière se fait le gain d'azote, si souvent observé dans la culture des légumineuses. Je demande, si de l'une d'elles ou même de leur ensemble, ressort une seule démonstration de ce fait, que les légumineuses n'ont pas pu s'assimiler directement l'excédent d'azote clairement révélé, mais se le sont nécessairement assimilé de façon indirecte. Pour moi cette preuve m'échappe et la plupart des auteurs, à ce qu'il paraît, ne l'ont pas mieux trouvée que moi.

Dietzell conclut de ses expériences une seule chose, c'est que le trèfle et les pois ne prennent pas à l'atmosphère l'azote trouvé en combinaison dans leurs organes aériens et que l'acide phosphorique soluble peut favoriser, dans le sol, l'association de l'azote à d'autres substances.

Atwater et Joulie tiennent pour décidé que l'excédent d'azote absorbé par les légumineuses ne peut avoir sa source que dans l'azote libre qui est un des éléments de l'air. Quant à savoir comment, la question jusqu'ici reste ouverte tout entière.

Frank pense ne pouvoir tirer de ses expériences que la conclu-

sion suivante : Il existe dans la terre deux pouvoirs mécaniques opposés, l'un tendant à dégager l'azote de ses combinaisons, l'autre au contraire cherchant à constituer ces combinaisons ; ce pouvoir est favorisé par la présence des plantes vivant sur le sol. De quelle façon s'opèrent ces combinaisons de l'azote ? Les expériences décrites n'ont encore pu donner à ce sujet aucun éclaircissement.

E. Wolff cherche à expliquer son excédent d'azote par l'absorption de l'ammoniaque aidée par l'humidité du sol, c'est-à-dire par la combinaison de l'azote libre de l'atmosphère sous l'influence du carbonate de chaux. Mais il ajoute qu'il est cependant un fait toujours remarquable et qu'il est impossible d'expliquer : pourquoi, en effet, les forces attractives, qui s'accusent, facilitent-elles dans les légumineuses et dans les trèfles seuls l'absorption de l'alimentation azotée indispensable à leur croissance, quand ces mêmes forces ne favorisent en rien la végétation des céréales ?

Strecker seul tient l'hypothèse de l'absorption indirecte de l'azote par les plantes pour indubitablement démontrée, et il considère les différences, trouvées dans ses expériences entre les teneurs des céréales et celles des légumineuses, non comme typiques, mais comme étant une simple question de quantité.

Quant à ce qu'on doit penser de l'influence qu'a la culture des légumineuses sur les facultés mécaniques qu'aurait le sol d'agir sur les combinaisons et les dégagements de l'azote, je ne connais jusqu'ici que deux opinions qui aient été exprimées. Les voici :

L'ombre plus épaisse donnée au sol par un tapis de légumineuses y entretient une plus grande humidité et accroît ainsi sa faculté d'absorber l'ammoniaque de l'atmosphère.

En outre, les légumineuses ont, contrairement aux autres plantes, la propriété exceptionnelle de s'emparer des moindres traces de combinaisons azotées assimilables, de les faire servir à l'entretien de leur vie et d'empêcher par là toute transformation de ces aliments en combinaison non assimilable, ou en azote libre.

Wollny et Strecker ont prouvé l'inexactitude absolue de la première proposition. Ils ont montré que le sol, ombragé seulement dans sa partie supérieure, n'a qu'une couche très mince plus humide que celle d'un sol non ombragé et immédiatement au-dessous est même

plus sec, enfin que dans les couches profondes on n'aperçoit aucune différence dans la teneur en eau, que le sol ait nourri des légumineuses ou des graminées.

Pour le second point je n'ai pu trouver dans aucun des livres qui sont à ma disposition, d'expérience pouvant servir de fondement à cette affirmation.

Aussi m'est-il impossible de cacher les doutes qui s'imposent à mon esprit sur la justesse de l'hypothèse concernant l'assimilation de l'azote par voie indirecte dans les légumineuses.

Quand on examine, dans leur ensemble, les résultats consignés dans les six travaux dont nous venons de parler, on ne peut méconnaître, malgré les contradictions qui se rencontrent dans chacun d'eux, que le gain de l'azote, obtenu par la culture des légumineuses, et son degré le plus faible dans le sol le plus riche en azote, atteint son maximum dans le sable presque ou même entièrement dépourvu d'azote; qu'en somme enfin, et le plus souvent, il est dans un rapport à peu près inverse avec la richesse en humus de la terre.

Cela répond-il aux suppositions de l'hypothèse? Je ne le pense pas. Où se montre en effet, au plus haut degré de puissance, l'influence des plantes sur la fixation de l'azote et sur sa mise en liberté? Est-il donc clairement établi que c'est dans le sol, où ces phénomènes se montrent avec le plus d'activité, dans le sol, qui a au plus haut point la faculté d'absorber continuellement de petites quantités d'azote combiné, qu'est le plus grand danger de perte par la décomposition des matières organiques mettant l'azote en liberté? Qui voudrait alors soutenir que ce n'est pas plutôt le rôle d'une terre de jardin riche en humus que celui d'un sable de rivière bien purifié ou ayant passé à l'étuve?

Est-il besoin de pousser plus loin cette discussion? Ce qui a été dit suffira, je l'espère, pour rendre évident qu'aucune démonstration expérimentale, justifiant l'hypothèse de l'assimilation de l'azote par voie indirecte dans les légumineuses, n'a été faite jusqu'à ce jour.

Il nous importe bien plus de montrer ici pourquoi les résultats des expériences, que nous avons faites de 1883 à 1885, ne sont pas expliqués par cette hypothèse qu'ils semblent même contredire.

Ce fut avant tout cette considération, qui empêcha E. von Wolff de se prononcer contre l'approvisionnement en azote dans sa dernière publication sur la composition de diverses plantes.

L'action de presque toutes ces forces, auxquelles on attribue la formation des combinaisons azotées dans la terre, tend, en définitive, à augmenter la somme d'acide nitrique dans la réserve du sol. Mais l'acide nitrique est pour les graminées la forme la mieux acceptée, sans aucun doute, sinon même l'unique forme de l'alimentation azotée. Dans nos expériences, les graminées et les légumineuses se trouvaient dans les mêmes conditions de végétation, mais on constata cette différence que, croissant dans un sable pauvre et lavé, sans addition de nitrates, les légumineuses seules eurent un développement normal parfois même luxuriant, tandis que les graminées ne donnèrent jamais aucun produit. Si, pour expliquer ce fait, on suppose que le sol a absorbé d'avance une certaine, quoique faible, quantité d'ammoniaque, qu'il a acquis une certaine mais faible quantité de nitrate aux dépens de l'azote libre de l'atmosphère, et que cette acquisition s'est accrue d'une manière quelconque par la végétation des légumineuses, etc., on admet par là même que le sol portant des graminées s'est néanmoins enrichi d'acide nitrique dans une certaine proportion, quelque faible qu'elle soit. Comment se fait-il alors que les graminées ne puissent, fût-ce en proportion moindre que les légumineuses, ce qui serait facile à expliquer, s'assimiler rien, absolument rien de cette modeste, mais *certaine* acquisition d'azote faite par le sol ?

Je sais que les défenseurs de la quatrième hypothèse ne sont pas embarrassés par cette question. Ils y répondent : les légumineuses ont seules la faculté de découvrir rapidement dans le sol et de s'assimiler les faibles quantités d'azote qui y existent en combinaison. Les graminées n'ont pas ce pouvoir et l'azote que le sol leur ménage, toujours repris et dès l'instant par les forces contraires qui tendent à la désagrégation des combinaisons azotées du sol, se perd par suite de la constitution même des graminées avant qu'il puisse s'accumuler en quantité suffisante pour être assimilé. C'est ainsi que la perte de l'azote se consomme dans le même temps qu'il faut aux graminées pour l'acquérir.

J'ai montré plus haut que l'incapacité des graminées à fixer les combinaisons assimilables de l'azote, dans des solutions très diluées, non plus que la faculté qu'auraient les légumineuses de le faire d'une façon frappante et typiquement différente, ne sont pas démontrées expérimentalement, et j'ajoute aujourd'hui que les résultats de nos expériences, loin de la justifier, contredisent la première de ces assertions.

Les récoltes que nous ont fournies les légumineuses dans un sol dépourvu d'azote, n'ont pas révélé une petite quantité accidentelle, mais dans chacun des cas, un gain en azote de 1000 milligr. environ et même plus. Dans nos essais de culture sur les graminées, quoique dans l'alimentation en nitrates nous soyons descendus de 224 à 28 milligr. d'azote pour 4 kilogr. de sol, c'est-à-dire qu'une partie d'azote répondait à 15 000 parties du sol, les plus faibles doses non seulement ont influé sur le développement des graminées, mais, ce qui est frappant ici, ont influé, relativement, autant que les plus fortes. Ainsi, dans les cas où l'azote était fourni à la plante à un grand état de dilution, une partie correspondait à un peu plus de 90 parties de substance sèche fournie par la végétation aérienne de l'avoine et de l'orge, exactement comme dans les cas où la concentration de l'azote était plus forte. Ce résultat répond-il à l'affirmation citée plus haut? J'ai peine à le croire, s'il est vrai que les graminées aient de la difficulté à dégager l'azote de solutions très peu concentrées, ne devrait-on pas déjà remarquer dans nos essais, où les doses d'azote ont été fortement diminuées, sinon une cessation complète, au moins l'indication d'un recul dans l'action et dans la puissance relatives de l'azote?

D'autres considérations m'ont paru s'opposer davantage encore à l'application de cette hypothèse aux résultats de nos recherches.

Quand notre sable n'était pas additionné de nitrates, les graminées n'ont jamais pu atteindre un développement normal; seules les légumineuses y sont parvenues, mais encore inégalement et pas toujours.

En 1885, 16 de nos vases de culture (n[os] 102 à 117), préparés uniformément avec notre sable de quartz, furent alimentés avec une solution convenable, mais dépourvue d'azote, et chacun d'eux

reçut deux plantes de pois. Quoique les conditions de culture fussent les mêmes pour tous les numéros, la végétation des pois ne fut rien moins qu'égale. Dans deux vases les plantes ne dépassèrent pas un état modéré d'inanition; dans deux autres elles eurent une végétation vraiment luxuriante et tout à fait inaccoutumée; dans le reste, une moitié crut d'une façon moins satisfaisante et l'autre végéta bien; enfin dans plusieurs vases il arriva qu'une seule plante était saine et forte, tandis que la seconde mourait de faim. Voici, par exemple, un des rendements obtenus en substance sèche dans la partie aérienne :

NUMÉROS	PLANTE *a*	PLANTE *b*	TOTAL	QUANTITÉ D'AZOTE trouvée dans la récolte en plus de celle qui avait été fournie par le sol et la semence.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
105	17,091	16,056	33,147	+ 1,133
109	13,192	14,622	27,816	+ 0,730
107	0,919	1,064	1,983	?
115	0,689	1,029	1,718	+ 0,000
111	5,786	6,965	12,751	+ 0,265
117	0,630	7,003	7,633	?

Tous ces vases, nous l'avons dit, reçurent le même sol et la même alimentation ; tous furent mis en place le même jour et de la même façon et ils furent installés de telle sorte que l'air, la lumière et la chaleur favorisassent également la végétation des plantes; enfin, à l'aide de pesées, l'humidité du sol, que les plantes fussent misérables ou luxuriantes, fut maintenue dans les mêmes limites de variation. Ainsi dans tous nos vases les forces tendant à produire les combinaisons de l'azote et à les dissocier, en tant qu'elles sont inhérentes au sol, purent et durent avoir une action de valeur égale sur l'alimentation.

Nos 32 semis de pois étaient cependant, sans exception, des spécimens sains et normaux. Pendant les trois premières semaines de leur existence, c'est-à-dire tant que le grain de semence leur fournit la nourriture, la végétation fut bonne, puis tous, au même moment, indiquèrent, par un arrêt dans le développement, que leur réserve était complètement épuisée et à la fin de la 5e semaine on ne pouvait encore voir aucune différence dans leur végétation. C'est immédiatement après cette époque que devinrent apparentes, sans aucune

transition, les différences dans la croissance et dans l'assimilation de l'azote, qui graduellement atteignirent l'importance indiquée dans les résultats cités plus haut.

Comment aussi expliquer cette observation dans l'hypothèse de l'assimilation de l'azote par voie indirecte? Conclura-t-on que la faculté exceptionnelle qu'auraient les légumineuses de puiser l'azote dans les solutions les plus diluées est variable pour chaque individu? Admettra-t-on que quelques plantes légumineuses, dans les expériences, réduites au rôle des graminées, possèdent, l'une plus et l'autre moins, cette faculté merveilleuse?

Pour rendre hommage à la vérité et éviter tout malentendu, on doit ajouter ici que dans les 16 expériences parallèlement conduites en 1885, il exista cependant une inégalité de traitement que nous avons omis de mentionner jusqu'ici. Du n° 102 au n° 117 les vases avaient reçu deux par deux, en dehors de la solution alimentaire, une addition de carbonate de chaux. Nous nous sommes crus autorisés à n'attribuer aucune valeur à cette différence dans l'alimentation; car elle s'est clairement montrée sans influence sur le résultat de nos recherches. La végétation des plantes qui n'avaient pas reçu de carbonate de chaux n'a pas souffert et celles auxquelles on en a donné soit en abondance, soit en quantité moyenne, n'ont pas été plus florissantes. Un simple coup d'œil jeté sur les pages qui renferment les tableaux spéciaux de rendement, suffit pour démontrer que les différences constatées dans la croissance des plantes mises en observation n'ont absolument aucun rapport avec les différentes doses de chaux données. En outre, ces variations dans le développement des pois végétant dans un terrain dépourvu d'azote, nous avaient déjà frappés autrefois dans les expériences commencées dès l'année 1860, et dans lesquelles la teneur en chaux du sol était la même pour tous les vases. C'est justement cette observation qui nous avait poussés à entreprendre notre travail, et dans les expériences ultérieures faites en 1886, les mêmes différences reparurent sans qu'une addition de carbonate de chaux les fît varier. Nous décrirons plus loin ces expériences.

Il est une troisième observation qui nous a semblé incompatible avec l'hypothèse, c'est celle-ci:

Dans nos cultures de légumineuses, à côté des essais faits en terrain privé d'azote, nous en avions constamment d'autres en voie d'exécution dans lesquels le sol recevait des nitrates en plus ou moins grande quantité. Ceux-ci nous ont montré que les légumineuses s'emparent très volontiers des nitrates et les assimilent aussi bien que les graminées ; seulement la végétation tout entière des plantes poussant dans un sol pourvu d'azote a révélé de plus une différence très nette, et se représentant toujours, entre leur développement et celui des plantes croissant dans un sol qui ne renfermait pas d'azote. Ce fait, que nous avons rappelé plus haut, nous a semblé digne de toute notre attention. Ainsi les premières, depuis leur sortie de terre jusqu'à la récolte, c'est-à-dire jusqu'à l'épuisement du nitrate fourni, ont continué à croître sans aucune interruption visible, tandis que la végétation des secondes tomba, pour ainsi dire, par bonds successifs à trois époques différentes, non moins claires que frappantes. Dans la première période, qui comprend les trois ou quatre semaines de leur existence pendant lesquelles les jeunes plantes sont alimentées évidemment par la réserve nutritive de la semence, la croissance fut active et normale. A cette période en succéda une autre d'interruption complète et d'arrêt dans la production. Les jeunes plantes perdant leur fraîche couleur verte, on voyait les vieilles feuilles périr par résorption, tandis que celles qui étaient nouvellement formées poussaient visiblement plus petites que les premières et fort misérables. Enfin, à ce moment, les pois se comportèrent exactement comme les graminées végétant dans un sol dépourvu d'azote et depuis longtemps affamées. La durée de cette période fut très variable pour chaque plante : chez les unes elle ne fut que de quelques jours et chez les autres elle persista pendant plusieurs semaines. Puis la troisième période suivit presque sans transition : les plantes reverdirent, et, recommençant à assimiler, eurent une bonne végétation jusqu'à la fin.

Dans un sol privé d'azote les mêmes phénomènes se reproduisirent toujours dans la culture des légumineuses et jamais dans celle des graminées ; déjà nous en avions pris note dans nos premières expériences, ils se montrèrent de nouveau dans l'année 1880 en particulier, et E. von Wolff en fut frappé aussi dans ses cultures. L'arrêt

subit de la végétation, dans la seconde période, peut facilement et complètement être évité par une addition de nitrate dans le sol, il ne doit donc être considéré que comme étant la conséquence d'un état passager d'inanition, relativement à l'azote.

Si l'on tente d'expliquer cette observation par l'hypothèse de l'absorption indirecte de l'azote par les légumineuses, on se met, à ce qu'il me semble, dans une alternative fort périlleuse. Dès qu'on attribue aux légumineuses la faculté exceptionnelle de découvrir et de s'assimiler les moindres traces de nitrates existant dans le sol, on doit alors admettre qu'au début de la période d'inanition de nos plantes, le sol n'avait encore fourni aucune combinaison azotée.

Mais comment concilier cette proposition avec les faits énoncés? En décrivant l'expérience faite en 1884, nous avons dit que la plantation de nos pois germés avait eu lieu le 5 mai. La mise en place des pots, remplis d'un mélange de sol humide, s'était donc opérée dans la dernière semaine d'avril. La période d'inanition des plantes, mises dans un milieu dépourvu d'azote, se montra du commencement au milieu de juin et la récolte se fit au 28 août. De la mise en place des pots, prise comme marquant le commencement de l'expérience, jusqu'à la fin de la période d'inanition, il s'écoula donc environ huit semaines et, de là à la récolte, onze autres semaines.

En 1885, la mise en place des pots ayant eu lieu fin de mars et l'ensemencement le 2 avril, la période d'inanition pour les plantes qui s'en affranchirent les premières, se manifesta du commencement au milieu de mai et une maturité inégale conduisit la fin de l'expérience du milieu de juillet au milieu d'août. Dans cette année donc, le temps qui s'écoula jusqu'à la fin de la période d'inanition comprit au moins sept semaines et la période de végétation, qui suivit, quatorze semaines au plus.

A la fin de l'expérience, le bilan de l'azote donna, pour les deux plus beaux numéros, un excédent de 910 et de 1 242 milligr. Le gain en azote fut donc relativement très important et fut acquis aux plantes exclusivement dans la troisième des périodes de végétation décrites plus haut, c'est-à-dire dans un intervalle de onze à quatorze semaines au plus. Il serait même plus exact de dire en un temps plus court; car la récolte n'ayant jamais été faite qu'après le dessé-

chement complet des plantes, l'assimilation avait cessé depuis un certain temps déjà, quand on l'effectuait.

Les forces tendant à produire des combinaisons de l'azote, dans le sol, auraient dû cependant commencer à entrer en action au moment où les vases mis en place commencèrent à être arrosés avec la solution nutritive. Pourquoi donc leur influence ne se montra-t-elle en rien pendant sept à huit semaines, quand dans la période qui suivit immédiatement, elles purent concourir à l'assimilation de 10 milligr. environ d'azote en moyenne par jour ?

On n'admet pas alors que la combinaison de l'azote dans le sol ait véritablement commencé, même au minimum de sa valeur, dès la mise en place des vases, mais naturellement qu'un espace de temps est nécessaire pour accumuler une certaine somme de nitrate, c'est-dire pour nitrifier l'azote absorbé principalement sous forme d'ammoniaque, avant qu'il puisse faire sentir son influence sur la végétation.

Que devient en ce cas la faculté exceptionnelle qu'auraient les légumineuses de découvrir dans le sol les moindres traces de combinaisons azotées assimilables? Pourquoi les graminées ne puiseraient-elles pas de même dans une proportion quelconque à ce fonds d'azote accumulé ?

(Qu'il nous soit permis de faire observer par anticipation, qu'ainsi que nous l'ont appris les expériences ultérieures, une faible dose de nitrate, répondant à $1^{mg},3/4$ d'azote par kilogr. du sol, exerce déjà une action très visible sur la végétation des légumineuses, aussi bien que sur celle des graminées et des autres plantes.)

Enfin, nous ne pouvons nous empêcher de mentionner encore une observation, ne fût-ce qu'en passant.

Dans la description de nos expériences nous avons souvent noté déjà ce fait, que nos pois croissant dans un milieu dépourvu d'azote, dès qu'ils avaient triomphé de la période d'inanition, montraient dans le troisième stade de leur végétation une rapidité et une énergie de développement parfois étonnantes et que, la plupart du temps, dans l'espace de quelques semaines, ils arrivaient à atteindre, même à surpasser, les plantes qui avaient été fumées avec des nitrates et qui avaient crû sans aucune interruption depuis leur sortie de terre.

Trois couples de plantes déjà signalés attirèrent surtout notre attention à ce sujet : le n° 90 de l'année 1884 et les n°s 105 et 109 de l'année 1885. La végétation de ces six sujets ne fut pas simplement belle ou satisfaisante, elle fut particulièrement luxuriante. La tige forte et regorgeant de sève, les feuilles larges et charnues, d'un vert foncé inaccoutumé, ces plantes furent étonnantes pendant toute la durée de la troisième période de végétation. La teneur centésimale en azote des produits secs récoltés s'est montrée exceptionnellement élevée ; l'analyse a en effet donné :

	AZOTE CONTENU DANS		
	Semence.	Paille et balles.	Racines.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1884			
N° 90	4.5	1.5	3.0
Autres numéros	2.8 à 4.2	0.5 à 1.4	1.9 à 2.8
1885			
N° 105	5.3	2.5	4.3
N° 109	5.1	1.2	2.6
Autres numéros	3.7 à 4.7	0.6 à 1.3	1.6 à 3.6
Comme teneur moyenne des pois récoltés dans les champs (tableaux de Wolff) on admet	4.2	1.3	?

Les graminées présentent des phénomènes semblables, quand on leur donne un excédent de nitrates dans l'alimentation.

En fin d'expérience, le bilan de l'azote dans les produits récoltés accusa :

Dans le n° 90	910	milligr.
— 105	1 242	—
— 109	795	—

de plus qu'il n'en avait été donné au début dans le sol et par la semence.

Pour se rendre compte de l'importance majeure que représentent ces quantités d'azote, on doit se rappeler, comme nous l'avons démontré plus haut, qu'une addition de 300 milligr. d'azote donnée sous forme de nitrate de chaux suffisait pour amener nos grami-

nées, traitées dans des conditions semblables, à leur maximum de production, tandis qu'une dose de 500 à 600 milligr. entraînait la manifestation de phénomènes morbides.

Ces trois numéros offraient des exemples intéressants de ce fait, que les légumineuses peuvent, dans un sol dépourvu d'azote, non seulement satisfaire sans peine au besoin qu'elles ont de cet aliment, mais de plus se livrer à une consommation de luxe, dès qu'on les alimente en azote. En présence de la végétation de ces six plantes, comparée à l'absence complète de production dans les graminées, à la teneur des pois de contrôle restés de même presque improductifs et à l'entrée en scène constante de la période d'inanition chez les légumineuses placées dans des conditions tout à fait semblables de culture, j'ai tenté de relier l'assimilation de l'azote chez ces diverses plantes aux forces qui tendent à produire les combinaisons azotées dans le sol, et je dois avouer que cette conclusion m'a paru plus problématique encore qu'autrefois.

VII.

Toutes ces considérations nous entraînèrent donc à conclure encore une fois que nos observations ne pouvaient concorder avec les hypothèses émises jusqu'ici sur l'assimilation de l'azote chez les légumineuses, et, voulant poursuivre nos recherches ayant pour but de déterminer le besoin d'azote qui se fait sentir dans les plantes agricoles, nous nous sommes vus forcés de chercher autour de nous une autre explication.

Pour atteindre ce but, il nous a semblé que nous devions partir des deux hypothèses suivantes :

D'abord la source à laquelle puisaient nos légumineuses, devait être l'azote libre qui forme un des éléments de l'atmosphère. C'est la seule idée qui soit compatible avec le gain important d'azote qu'ils acquièrent en un temps si court.

En second lieu, la cause qui permettait cette assimilation de l'azote libre existait en dehors des conditions dans lesquelles nous faisions volontairement nos expériences, et le gain constaté n'était qu'accidentel, ainsi que le démontrait dans toutes nos déterminations

l'irrégularité complète dans la teneur en azote révélée par nos cultures de contrôle.

En outre, nous étions invités à pousser nos recherches plus loin par les observations qu'avaient faites d'autres que nous, et desquelles il résultait, d'un côté, que les micro-organismes qui se rencontrent dans le sol ont la faculté de faire entrer l'azote libre de l'air en combinaison avec l'albumine, et que, d'un autre côté, certains champignons peuvent, par une attraction réciproque, avoir une existence commune avec des plantes phanérogames plus puissamment organisées.

En fait, l'ensemble de nos expériences, que ne contredisaient en rien les observations des autres expérimentateurs, pouvait s'expliquer facilement et très naturellement, en admettant que, soumis à un double lavage, le sable siliceux, dont nous nous étions servis comme milieu de culture, était pauvre, il est vrai, en micro-organismes et en germes mycogéniques, mais n'en était pas complètement dépourvu.

Ces germes sont si libéralement répandus sous toutes les formes dans le sol, dans l'eau et dans l'air, qu'il est assez difficile de protéger un objet quelconque contre leur invasion. Dès l'instant où nos vases de culture, remplis de sable, étaient placés à l'air libre au début de nos expériences, ils étaient par là même exposés à l'introduction des germes de champignons, qui, n'étant due qu'au hasard, pouvait être fort différente dans chaque vase. Dès qu'on admettait en outre que les légumineuses ont la faculté d'entrer en communauté d'existence avec certaines sortes de champignons, communauté qui, influant tout d'abord sur le développement de ceux-ci et par là sur l'assimilation de l'azote, réagit en l'accélérant sur la croissance des légumineuses ; si, considérant qu'un certain laps de temps est nécessaire pour donner toute sa valeur à cette action de relation, on admet enfin que cette propriété est particulière aux légumineuses seules et que les graminées ou les autres végétaux agricoles ne les possèdent pas, alors s'expliquent de tous points nos observations sur l'absence de produits dans les graminées et sur la croissance des légumineuses dans un sol également dépourvu de nitrates, en même temps que les différences de rendement constatées tant dans les expériences de contrôle que dans les plantes végétant côte à côte dans

le même vase de culture, et dès lors la période d'inanition propre aux légumineuses, ainsi que l'excessive consommation d'azote que fait chaque sujet, perdent toute leur obscurité.

Ces divers points admis ne pouvaient naturellement que permettre d'établir une sorte d'hypothèse, dont les bases, nous l'avouons, étaient assez fragiles. Berthelot avait fait voir que dans un milieu stérilisé l'azote n'est pas enfermé dans une combinaison qui résiste à l'entraînement des eaux de lavage, tandis que le contraire se produit dans un sol non stérilisé. Quant à démontrer, en dernier lieu, que ce phénomène doit être attribué à l'action de bactéries, la preuve rigoureuse n'en était peut-être pas encore faite. D'un autre côté, on ne trouve point de mycélium dans les légumineuses, et dans les formations de mycélium connues jusqu'ici, les bactéries n'ont aucun rôle.

Néanmoins il importait peu : car si l'hypothèse était fausse, les expériences ultérieures ne devaient pas tarder à le révéler. De plus, elle ne pouvait que nous conduire à de nouveaux résultats et elle n'était pas en contradiction directe avec des faits sûrement démontrés.

Quant au dernier point, le fait, que les légumineuses possèdent dans les protubérances de leurs racines des organes caractéristiques qui, d'après les recherches des botanistes, seraient remplis par des bactéries et des tissus mycoïques, semblait même indiquer où l'on pouvait chercher en première ligne l'explication de la conduite singulière des légumineuses au point de vue de l'assimilation de l'azote.

Je dois dire ici qu'au temps où nous faisions ces réflexions, nous ne connaissions pas encore la communication due à Bruncharst sur les protubérances dans les racines des légumineuses (*Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschafft,* 1885, p. 241), travail dans lequel est niée la présence de bactéries dans les protubérances et où les corps microscopiques qui s'y rencontrent sont signalés comme des corpuscules albuminoïdes organisés des bactéroïdes.

Quand cette découverte parvint à notre connaissance pendant l'été de 1886, nos expériences nouvelles étaient en plein cours d'exécution et dans peu de temps présentaient certains résultats de nature à nous

encourager dans la poursuite de notre entreprise, d'autant mieux que les observations de Bruncharst touchaient d'assez loin à notre travail sur l'assimilation de l'azote par les légumineuses, pour que la poursuite n'en parût pas superflue. Quand même, en effet, le contenu caractéristique de certaines parties cellulaires dans les protubérances des racines ne serait pas véritablement formé de bactéries, mais de bactéroïdes, on pouvait songer à d'autres relations, sous l'influence desquelles les légumineuses et les organismes inférieurs qui existent dans le sol agiraient sur leur développement réciproque, soit avec la participation des protubérances, soit même sans elle.

Dans tous les cas, notre premier devoir était de chercher si on pouvait démontrer expérimentalement l'existence d'un rapport nécessaire de causalité entre l'assimilation de l'azote par les légumineuses et la présence de micro-organismes doués de vitalité.

En admettant le problème ainsi posé, il nous fallait additionner notre sable dépourvu d'azote d'une quantité voulue de micro-organismes qui favorisât d'une façon évidente et décisive la croissance des légumineuses ; elle devait, en outre, sinon supprimer l'irrégularité constatée dans les essais de contrôle, mais la diminuer dans une proportion bien déterminée et demeurer cependant sans influence sur la végétation des graminées. D'autre part, les légumineuses dans notre sable dépourvu d'azote, stérilisé avant le début de l'expérience et protégé pendant la période de végétation contre l'introduction de germes de champignons, devaient s'affamer sans donner aucun produit à la façon des graminées ou tout au moins être manifestement entravées dans leur développement.

Que le résultat de l'expérience fût négatif sur ces deux points, notre hypothèse devait être abandonnée ; mais s'il se montrait affirmatif, alors son exactitude, sans être encore définitivement démontrée, gagnait considérablement en vraisemblance.

Telle était l'idée fondamentale qui devait diriger nos prochains travaux. Mais il nous parut en outre avantageux de faire marcher parallèlement quelques autres recherches relatives à divers points, tels que : la manière de se comporter des graminées et des légumineuses en présence de solutions nitratées de très faible concentration ; l'influence sur la végétation du carbonate de chaux considéré

comme un des facteurs du sol tendant à y retenir l'azote, et enfin la nécessité qu'il y aurait de revenir à l'azote libre de l'air, comme source d'alimentation des légumineuses.

Dans la description qui va suivre des recherches faites à ces divers points de vue en 1886 et en 1887, je regarde comme opportun de mettre en tableau les uns à côté des autres, ainsi que je l'ai fait plus haut, les détails de l'opération ainsi que l'ensemble des nombres qui en ont été extraits, et de rattacher à la conclusion la discussion des résultats.

Il suffira en outre de prévenir les lecteurs que, dans la conduite des expériences, nous avons suivi avec soin la méthode qui précédemment nous avait semblé suffisante, et dont nous avons donné les détails plus haut.

Relativement à l'introduction que nous avions en vue de microbes et de germes mycoïques, c'est-à-dire de ces espèces d'organismes qui faisaient ici question, rien absolument n'en était encore connu et le procédé, on le comprend, ne pouvait en être demandé à la pure culture. Nous nous sommes donc contentés d'employer simplement pour cet usage de la terre en dissolution. Dans tout sol de culture sain, c'est un fait bien connu, les micro-organismes se rencontrent en quantités innombrables et dans une bonne terre de champ, dans laquelle pendant une longue série d'années des légumineuses avaient été cultivées suivant une rotation régulière, devaient aussi se trouver en grand nombre ces espèces de champignons, qui étaient indispensables pour atteindre notre but. Ce point admis sans conteste, il ne nous restait plus qu'une question préalable à résoudre, à savoir s'il n'est pas quelques organismes, activant l'assimilation de l'azote par les légumineuses.

Dans la pratique, voici comment nous avons opéré. Une certaine quantité de terre émiettée soit à son état d'humidité naturelle, soit à peine séchée à l'air, était arrosée avec cinq parties d'eau distillée, puis fortement battue à plusieurs reprises dans cette eau, elle était laissée en repos jusqu'à ce que la plus grande partie de l'argile et du sable ainsi lavé s'en fût séparée. Un temps plus ou moins long était nécessaire à cette opération, suivant la constitution du sol (parfois jusqu'à 10 heures). Alors le liquide surnageant plus ou moins trouble en-

core était décanté, puis, pour servir à l'expérience, était mélangé, après avoir été bien remué chaque fois, en quantité déterminée avec la solution nutritive et partagé dans toute la masse du sable employé.

Pour opérer la stérilisation, quand il en était besoin, on procédait de la façon suivante :

Les vases de verre étaient soigneusement lavés avec une solution de bichlorure de mercure (1 : 1 000) et 10 minutes après environ ils étaient purifiés par un nettoyage à l'alcool absolu. Les pierres servant au drainage, ainsi que l'épaisse couche de ouate qui devait les couvrir, étaient soumises dans l'étuve, pendant deux heures, à une température s'élevant jusqu'à 150° C. Ensuite les vases étaient remplis d'un sable encore brûlant, qu'on avait fait chauffer dans une bassine de cuivre à couvercle, très plate, sur un ample bain de sable, pendant 2 heures 1/2 au moins, à une température qui, dans les couches inférieures, s'élevait à plus de 200° C., et dans les couches supérieures accusait encore au thermomètre 150° à 160° C. Puis la solution nutritive, séparée en deux portions (*a.* — nitrate de chaux ; *b.* — autres sols en mélange), ayant été portée à l'ébullition dans le récipient, fermé de ouate pendant deux heures, ou bien tout d'abord un quart d'heure seulement et deux jours après replacée pendant quatre heures dans l'étuve stérilisatrice, était mélangée au sable. C'est alors que les grains, après avoir séjourné dans une solution mercurielle (1 : 1 000) et avoir été ensuite bien lavés avec de l'eau bouillie, étaient ensemencés. Enfin la surface tout entière tant du sol que des vases de culture était recouverte d'une couche épaisse de coton stérilisée, comme nous venons de le dire.

Il est à peine besoin de faire observer que l'opération du remplissage et de la couverture des vases fut toujours conduite avec toute la rapidité possible et faite suivant toutes les règles.

Quant à l'eau d'arrosage nécessaire pendant la végétation, on n'employa que de l'eau distillée qu'on avait fait bouillir une et même deux fois pendant une heure sous une couverture de ouate avant de s'en servir.

Traduit de l'allemand par E. Gourier.

(*A suivre.*)

DOSAGE

DE

L'HUMUS ET DE LA POTASSE

DANS LES TERRES

PAR

M. J. RAULIN

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DU RHÔNE

Le dosage de l'humus par dissolution dans l'ammoniaque, évaporation et pesée n'est pas exempt de difficultés : l'ammoniaque ne dissout pas toujours toute la matière organique ; il n'est pas bien commode de séparer complètement l'argile des sels dissous par l'acide et de l'humate d'ammoniaque à cause de l'état colloïdal de l'argile ; la pesée de l'humus manque souvent de précision, parce que le résidu sec humifère est formé en grande partie de sels minéraux dont l'état n'est pas le même que dans le résidu calciné.

Le dosage de l'humus par précipitation au moyen de l'acétate de plomb après dissolution par la soude ne m'a pas donné en général des résultats bien concordants : aux difficultés de séparation signalées plus haut viennent quelquefois se joindre l'incomplète précipitation de l'humate de plomb et l'inconvénient qui résulte du mélange de l'humus à une forte proportion de composés de plomb dont l'état change par incinération.

Le dosage volumétrique de l'humus par le permanganate de potasse serait d'une grande simplicité, si la combustion de la matière organique par l'oxygène du permanganate n'était incomplète, et si

le brunissement de la liqueur ne rendait incertain le passage à la teinte rose, ce qui enlève toute exactitude à ce procédé.

Mais j'ai obtenu des résultats convenables de l'application du procédé de John Henri Schmith (*Moniteur scientifique,* p. 1038 et 1160, année 1887), pour doser les matières organiques par le permanganate de potasse, que j'ai modifié en vue du dosage de l'humus.

Ce procédé repose sur la transformation en bioxyde de manganèse, sous l'influence d'une chaleur douce, d'un mélange de sulfate de protoxyde de manganèse et de permanganate de potasse en solution, et sur l'oxydation complète des matières organiques par ce bioxyde de manganèse, par une ébullition prolongée dans une liqueur acide, avec réduction en sel de protoxyde de manganèse. Si, dans un petit ballon, on chauffe quelques instants un mélange mesuré de solution de sulfate de protoxyde de manganèse et de permanganate de potasse dans les proportions convenables pour donner du bioxyde de manganèse, avec un petit excès de sulfate de manganèse, la liqueur se décolore et il se forme un précipité noir dont la constitution ne peut s'écarter beaucoup de celle du bioxyde. Si on ajoute un excès mesuré de solution d'acide oxalique, et qu'on chauffe de nouveau, le précipité se dissout en entier, la solution devient incolore, et si, après avoir acidulé par l'acide sulfurique, on ajoute une solution de permanganate de potasse jusqu'à coloration rose, le passage se fait très nettement, et il faut toujours un volume constant de liqueur manganique, ce qui prouve que la composition du précipité noir est constante.

On s'est assuré qu'une ébullition de plusieurs heures n'altère pas sensiblement le précipité de bioxyde de manganèse, soit en présence d'un petit excès de sulfate de protoxyde de manganèse, soit en présence d'eau acidulée par l'acide sulfurique jusqu'à la proportion de 1 cent. cube p. 100 d'eau, soit en présence de petites quantités de sulfate de soude ou de sulfate d'ammoniaque. Exemples :

N° 1. — 10 cent. cubes sulfate de manganèse ; 5 cent. cubes permanganate de potasse (voir plus loin la composition de ces liqueurs) ; 4 cent. cubes acide sulfurique à 150 cent. cubes par litre, 50 cent. cubes d'eau ; pas d'ébullition.

N° 2. — Même composition que le n° 1 ; ébullition 6 heures.

N° 3. — Même composition que le n° 1 ; ébullition 10 heures.

N° 4. — Composition du n° 1 ; plus 5 cent. cubes sulfate de manganèse ; ébullition 10 heures.

N° 5. — Composition du n° 1 ; plus 2 cent. cubes d'acide; ébullition 10 heures.

Résultats : Chacun de ces essais a exigé 40 cent. cubes de liqueur oxalique, et pour détruire l'excès d'acide oxalique :

Le n° 1 a exigé $15^{cc},3$ de permanganate de potasse à 1 gramme par litre ;

Le n° 2 a exigé $15^{cc},5$ de permanganate de potasse à 1 gramme par litre ;

Le n° 3 a exigé $15^{cc},9$ de permanganate de potasse à 1 gramme par litre ;

Le n° 4 a exigé 16 cent. cubes de permanganate de potasse à 1 gramme par litre ;

Le n° 5 a exigé $15^{cc},5$ de permanganate de potasse à 1 gramme par litre.

Deux autres essais, l'un avec 3 décigrammes de sulfate d'ammoniaque, l'autre sans sulfate d'ammoniaque, après une ébullition de 15 heures, ont exigé, pour la destruction de l'excès d'acide oxalique, le premier $6^{cc},1$ de permanganate de potasse à 1 gramme par litre, le second 6 cent. cubes.

Si l'on ajoute à une liqueur manganique composée comme précédemment, des volumes différents d'un même liquide humifère, et qu'on fasse bouillir pendant le même temps, les volumes de liqueur oxalique mesurant les quantités de bioxyde de manganèse disparus, seront proportionnels aux volumes d'humus. Exemples :

N° 1, 10 cent. cubes d'humus ;
N° 2, 20 cent. cubes d'humus ; } ébullition 6 heures.
N° 3, 40 cent. cubes d'humus ;

Volumes d'acide oxalique correspondant à l'oxyde de manganèse disparu.

N° 1. — $2^{cc},52$ . . . . $2^{cc},52$.
N° 2. — $5^{cc},22$ ou pour 10 cent. cubes, $2^{cc},61$.
N° 3. — $10^{cc},15$ ou pour 10 cent. cubes, $2^{cc},54$.

Mais cette proportionnalité ne se maintient qu'autant qu'il reste au moins la moitié de l'oxyde de manganèse inattaqué. S'il en avait disparu plus de la moitié, il pourrait rester de l'humus non attaqué, et les volumes d'acide oxalique croîtraient moins vite que les volumes d'humus.

Si l'on fait varier le temps d'ébullition du mélange de sels manganiques et d'humus, les volumes d'acide oxalique qui représentent l'oxyde de manganèse détruit, augmentent avec le temps, jusqu'à une certaine limite :

N° 1. — 1 heure. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $14^{cc},10$.

N° 2. — 2 heures. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $21^{cc},00$.

N° 3. — 4 heures. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $24^{cc},00$.

N° 4. — 8 heures. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $25^{cc},50$.

N° 5. — 12 heures. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $25^{cc},70$.

N° 6. — 15 heures. Volume d'acide oxalique représentant l'humus détruit $25^{cc},90$.

Une ébullition de 8 heures suffit donc pour que la réaction soit à peu près complète.

Chose étrange ! j'ai cru que la réaction serait plus régulière si j'adaptais au ballon un tube à gaz de 1 mètre de longueur, pour condenser les vapeurs et les faire retomber dans le ballon, et à partir de ce moment, les résultats ont cessé d'être concordants, Exemples :

N° 1. — Pas d'ébullition : a exigé 30 cent. cubes d'acide oxalique, et $1^{cc},2$ de permanganate à 1 gramme par litre pour détruire l'acide oxalique en excès.

N° 2. — Ébullition de 6 heures avec tube de 1 mètre : 30 cent. cubes d'acide oxalique, $13^{cc},6$ de permanganate.

N° 3. — Ébullition de 8 heures avec tube de 1 mètre : 30 cent. cubes d'acide oxalique, $5^{cc},9$ de permanganate.

Les trois essais ne contenaient pas de matières organiques.

Les essais suivants ont été faits par mélange du liquide manganique avec des matières organiques.

N° 1. — Essai type : pas de matière organique, pas d'ébullition : a exigé 30 cent. cubes d'acide oxalique, $1^{cc},2$ de permanganate à 1 gramme par litre.

N° 2. — Essai sans matière organique ; ébullition de 8 heures, avec tube : a exigé 30 cent. cubes d'acide oxalique, $6^{cc},4$ de permanganate.

N° 3. — Comme le n° 2, plus 2 cent. cubes de liquide organique : a exigé acide oxalique 30 cent. cubes; permanganate 4 cent. cubes.

N° 4. — Comme le n° 2, plus 2 cent. cubes de liquide organique : a exigé acide oxalique 30 cent. cubes ; permanganate $3^{cc},5$.

N° 5. — Comme le n° 2, plus 2 cent. cubes de liquide organique; ébullition 12 heures avec tube a exigé : acide oxalique 30 cent. cubes; permanganate 15 cent. cubes.

Peut-être une production d'eau oxygénée expliquerait-elle ces anomalies? Quoi qu'il en soit, il faut absolument supprimer ce tube à condensation qui serait cependant d'un usage commode.

On a comparé, pour des terres différentes, inégalement riches en humus, les volumes d'acide oxalique qui mesurent les quantités d'oxyde de manganèse, détruites par l'humus, et les poids de cet humus déterminés directement par dissolution au moyen de l'ammoniaque, évaporation et pesée, en prenant les précautions nécessaires pour que ces déterminations fussent le moins possible modifiées par les causes d'erreurs que j'ai signalées plus haut. Les deux séries de nombres n'ont pas été exactement proportionnelles, et en général, les poids directs d'humus, dans un même poids de terre, ont augmenté moins vite, avec la richesse de la terre en humus, que les volumes de liqueur oxalique représentant cet humus. Le tableau qu'on trouve plus loin donnera des indications suffisantes à cet égard.

C'est de ces considérations qu'on a déduit le procédé suivant de dosage de l'humus dans les terres :

1° Préparation de la liqueur humifère :

On pèsera 10 grammes de terre fine; on dissoudra l'élément calcaire par l'acide chlorhydrique suivant les procédés usuels; on

lavera, pour enlever les parties solubles, en s'arrêtant dès que la quantité de sels calcaires qui reste est négligeable.

On dissoudra l'humus en ajoutant au résidu 1 gramme de soude caustique pour les terres ordinaires, et une quantité proportionnelle pour les terres riches en humus ; on agitera, on laissera l'action se prolonger pendant 5 heures; on ramènera, en ajoutant de l'eau, le volume à 200 cent. cubes exactement.

On filtrera une partie du liquide trouble, ou on décantera après clarification. On réservera les résidus pour le dosage de l'argile, et le liquide filtré servira pour le dosage de l'humus.

2° Préparation des liqueurs titrées :

On fera une dissolution de sulfate de protoxyde de manganèse pur dans l'eau (*environ* 16 gr. de sel anhydre dans 1 litre).

On fera une dissolution de permanganate de potasse pur dans l'eau (*exactement* 10 grammes par litre).

On fera une solution d'acide oxalique pur dans l'eau (*exactement* 6gr,3 d'acide cristallisé par litre). Solution décime normale.

On fera encore une solution d'acide sulfurique dans l'eau (environ 150 cent. cubes d'acide monohydraté par litre).

Enfin on fera une solution de permanganate de potasse à 1 gramme par litre.

On déterminera la valeur de l'acide oxalique par rapport au mélange du sulfate de manganèse et du permanganate de potasse d'une part, et de l'autre par rapport au permanganate de potasse à 1 gramme par litre comme il suit :

Dans un ballon ou une fiole à fond plat de 250 cent. cubes, on mettra 10 cent. cubes de la solution de sulfate de manganèse et 10 cent. cubes de la solution de permanganate de potasse *exactement ;* on chauffera quelques instants ; il se déposera du bioxyde de manganèse et la liqueur se décolorera ; on ajoutera 100 cent. cubes d'eau, 4 cent. cubes de la solution sulfurique, et, par parties, 35 cent. cubes de liqueur oxalique, en chauffant. Tout le dépôt se dissoudra. On titrera l'acide oxalique restant par la liqueur manganique à 1 gramme par litre. — D'autre part, on mettra dans un ballon semblable 5 cent. cubes de liquide oxalique, avec 100 cent. cubes d'eau et 4 cent. cubes de solution sulfurique, on chauffera et

on ajoutera la liqueur à 1 gramme de permanganate de potasse par litre jusqu'à coloration rose. — On calculera ensuite la valeur de 1 cent. cube de ce permanganate en liqueur oxalique, et la valeur du bioxyde de manganèse en liqueur oxalique.

3° Dosage de la liqueur humique :

Dans le ballon de 250 cent. cubes, on mettra 10 cent. cubes de sulfate de manganèse, 10 cent. cubes de permanganate ; on chauffera quelques instants pour former le bioxyde ; on ajoutera 100 cent. cubes d'eau, 4 cent. cubes de liqueur sulfurique, et un volume exactement mesuré de liquide humique, préalablement neutralisé approximativement par de l'acide sulfurique, tel qu'en s'oxydant complètement, il détruise à peine la moitié du bioxyde de manganèse. On soumettra à une légère ébullition sur un bec de gaz pendant 8 heures en renouvelant l'eau à mesure qu'elle s'évaporera. — On dissoudra ensuite à chaud le reste de l'oxyde de manganèse par un volume convenable et mesuré d'acide oxalique ; et on déterminera ce qui reste d'acide oxalique non décomposé par la liqueur manganique à 1 gramme par litre.

On calculera le volume d'acide oxalique non altéré ; et par suite le volume d'acide oxalique détruit par le bioxyde de manganèse restant. En retranchant celui-ci du volume d'acide oxalique exactement détruit par le bioxyde de manganèse avant l'action de l'humus, on aura le volume de liqueur oxalique équivalent à l'humus de la liqueur. — On calculera facilement le volume de liqueur oxalique équivalent à l'humus de 10 grammes de terre, et au besoin de 10 grammes de terre sèche.

4° Expression de l'humus contenu dans 10 grammes de terre sèche :

En multipliant le nombre de centimètres cubes de liqueur oxalique par 0,8, on aura, exprimé en milligrammes, le poids d'oxygène nécessaire pour brûler l'humus de 10 grammes de terre sèche. Or l'humus n'est pas un composé défini ; c'est un résidu de matières organiques qui, comme la houille, a déjà subi une combustion lente et partielle, et qui exigera par unité de poids, d'autant plus d'oxygène pour achever de se brûler, que l'altération sera moins profonde. *Le poids d'oxygène nécessaire pour brûler l'humus peut*

donc être pris pour en estimer la valeur, aussi bien que le poids de l'humus lui-même.

Cependant si l'on veut estimer l'humus par son poids, on pourra se servir du tableau suivant, qui résume nos expériences, et dont l'exactitude, sans être rigoureuse, peut être regardée comme suffisante, eu égard à la variabilité de constitution de l'humus :

Volumes d'acide oxalique décime normal équivalent à l'humus de 10 grammes de terre sèche.	Poids d'humus obtenus directement de l'humate d'ammoniaque pour 10 grammes de terre sèche.
Centimètres cubes.	Milligrammes.
50	80
100	150
200	280
300	400
400	510
500	610
600	705
700	790
800	885
900	975
1 000	1 060
1 200	1 225
1 400	1 390
1 600	1 560
1 800	1 720
2 000	1 890
2 500	2 315
3 000	2 735
3 500	3 170
4 000	3 605
4 500	4 035
5 000	4 460
5 500	4 890
6 000	5 310
6 500	5 745

Depuis que MM. Berthelot et André ont démontré qu'une partie plus ou moins grande de la potasse d'une terre peut échapper à l'action des acides usuels, le procédé employé pour dissoudre la potasse a acquis une importance prépondérante, et le choix de ce procédé dépend de l'assimilabilité de la potasse que l'on veut doser.

Mais, ce choix une fois fait, le procédé de dosage qu'on doit préférer n'est pas indifférent, car la nécessité d'opérer des séparations

successives de la potasse dans une masse où elle n'entre souvent que pour 1/1000 ou moins, la solubilité non négligeable des sels de potasse qui servent à la précipitation, la petitesse du poids obtenu si l'on veut opérer sur une masse de terre facilement maniable, sont autant de difficultés auxquelles sont plus ou moins exposées les méthodes classiques pondérales.

Le procédé que je propose n'exige pas de séparations multiples bien rigoureuses; il évite les erreurs de solubilité, il permet d'opérer sur un petit poids de terre, circonstance appréciable, surtout si l'attaque se fait par l'acide fluorhydrique ou le carbonate de soude, car le poids du précipité pesé est 19 fois celui de la potasse à doser.

Il repose sur la très faible solubilité dans les liquides aqueux, du phosphomolybdate de potasse, tandis que les phosphomolybdates de soude, de magnésie, de chaux, de fer et d'alumine y sont plus ou moins solubles.

Ce procédé consiste essentiellement à transformer en nitrates les sels de potasse séparés de la terre, à précipiter par l'acide phosphomolybdique la potasse à l'état de phosphomolybdate de potasse, à l'isoler, à le peser. Le poids de la potasse s'obtient en multipliant par $\frac{5,2}{100}$.

Voici les principales circonstances dont il faut tenir compte pour rendre ce procédé suffisamment pratique et exact :

Le phosphomolybdate de potasse précipité passe à travers les filtres avec une facilité extraordinaire, surtout lorsqu'il est en suspension dans l'eau pure : certains sels en dissolution, tels que l'azotate de soude, diminuent cette aptitude. La dessiccation par une chaleur même modérée, 50 degrés par exemple, le rend également moins apte à passer à travers les filtres ; mais si on le laisse à l'air ambiant, reprendre de l'humidité, il reprend cette propriété.

Le phosphomolybdate est lent à se précipiter dans les liqueurs étendues, il est également lent à se dissoudre une fois précipité ; enfin il n'est pas complètement insoluble dans l'eau pure ; il est très soluble dans les liqueurs alcalines, très peu dans une liqueur acidulée faiblement par l'acide nitrique, davantage dans une liqueur

chlorhydrique, et sa solubilité augmente dans les liqueurs fortement acides.

Enfin on doit éviter de trop chauffer sur filtre le phosphomolybdate à peser, parce qu'il donne facilement de petites quantités d'oxyde bleu de molybdène, et que les filtres imprégnés de liqueur acidulée par l'acide azotique, s'altèrent par la chaleur.

Quant à la solution d'acide phosphomolybdique, qui sert à former le phosphomolybdate, elle ne doit pas contenir d'acide phosphorique en excès dans lequel le phosphomolybdate de potasse est sensiblement soluble, et elle ne doit pas être chauffée trop fortement après avoir été mêlée aux sels de potasse, parce qu'elle peut déposer de l'acide molybdique.

Voici les principales circonstances qui influent sur le poids du précipité de phosphomolybdate de potasse :

1° La température de dessiccation du mélange du sel de potasse et d'acide phosphomolybdique :

N° 1. — En desséchant un certain mélange à la température ambiante, lavant, séchant et pesant, on a eu : 320 milligr.

N° 2. — En desséchant le mélange à 40° : 340 milligr.

N° 3. — En desséchant le mélange à 60° : 335 milligr.

N° 4. — En desséchant le mélange à 100° : 355 milligr.

C'est donc de 40° à 60° que le poids est le plus constant.

2° La proportion d'acide phosphomolybdique pour un même poids de potasse :

Avec 5 cent. cubes d'une solution de nitre à 8 grammes par litre, et 2, 4, 6, 8 cent. cubes d'une solution d'acide phosphomolybdique dont il sera parlé plus loin, on a eu les poids de phosphomolybdate suivants :

310 milligr. ; 340 milligr. ; 360 milligr. ; 355 milligr.

6 cent. cubes de ce réactif sont donc suffisants ; au delà, les poids diminuent un peu à cause de la solubilité.

S'il y a assez d'acide phosphomolybdique, la liqueur doit rester franchement jaune après la précipitation.

3° De très petites quantités de phosphate de soude, de chlorure de sodium, de sulfate de soude, de nitrate de magnésie, 1 décigr. ou moins, pour 5 cent. cubes d'une solution de nitre à 8 grammes

par litre, n'influent pas beaucoup sur le poids de phosphomolybdate, mais des quantités un peu fortes le modifient notablement :

N° 1. — 6 cent. cubes liqueur phosphomolybdique et 5 cent. cubes de nitre à 8 grammes par litre ont donné : 360 milligr.

N° 2. — Même mélange + $0^{gr},7$ de chlorure de sodium : 310 milligr.

N° 3. — Même mélange + $0^{gr},5$ de sulfate de soude : 330 milligr.

N° 4. — Même mélange + $0^{gr},125$ d'acide phosphorique à l'état de phosphate de soude : 310 milligr.

N° 5. — Même mélange + $0^{gr},7$ de nitrate de magnésie : 310 milligrammes.

N° 6. — Même mélange + Azotates de fer et d'alumine : 380 milligrammes.

Mais d'assez fortes proportions de nitrate de chaux n'influent pas beaucoup, car 1 gramme de nitrate de chaux ajouté à la solution du n° 1 a donné un poids de phosphomolybdate de 360 milligr.

Le nitrate de soude n'a pas non plus une influence notable, car on a toujours traité le précipité par une eau de lavage à 20 grammes de nitrate de soude par litre, et on a eu des résultats concordants lorsqu'on a éloigné les causes d'erreurs précitées.

C'est sur les faits précédents qu'on a basé le procédé dont voici le détail :

Réactif phosphomolybdique. — Dissoudre 100 grammes de molybdate d'ammoniaque cristallisé pur dans le moins d'eau possible (250 cent. cubes d'eau) ; ajouter $6^{gr},5$ de phosphate d'ammoniaque neutre cristallisé pur, dissous dans un peu d'eau, le tout dans une fiole de 500 cent. cubes. Ajouter de l'eau régale formée de volumes égaux d'acide chlorhydrique et d'acide azotique purs : il se précipite du phosphomolybdate d'ammoniaque. On chauffe à feu nu en ajoutant de temps en temps de l'eau régale jusqu'à dissolution complète du précipité.

L'ammoniaque est alors détruite.

Évaporer à feu nu dans une capsule de porcelaine, achever au bain-marie à 70 à 80°, en ajoutant de temps en temps un peu d'acide chlorhydrique, jusqu'à siccité. Ajouter alors 400 cent. cubes d'eau, 5 cent. cubes d'acide nitrique, chauffer doucement, laisser déposer, décanter. La solution d'acide phosphomolybdique est prête à être utilisée.

Préparation de la liqueur destinée au lavage du précipité de phosphomolybdate de potasse.

Dissoudre 20 grammes d'azotate de soude dans un litre d'eau; 2 cent. cubes d'acide nitrique pur; y ajouter un mélange de 20 cent. cubes environ de liqueur phosphomolybdique et de $1^{cc},2$ de solution de nitre à 80 grammes par litre légèrement chauffé, pour saturer le liquide de phosphomolybdate de potasse; agiter, décanter ou filtrer.

Préparation de la liqueur contenant la potasse à doser: On pèse un échantillon de terre contenant environ 15 milligr. de potasse anhydre; on la traite à température douce, en agitant de temps en temps, par 50 cent. cubes d'eau régale; on évapore à moitié; on reprend deux fois par 15 cent. cubes d'acide nitrique; on évapore à sec; on sèche à 110°, 120° pour rendre le silice insoluble; on lave à l'eau chaude en filtrant.

Si on a dissous la potasse par l'acide fluorhydrique, on évapore à siccité et on calcine; on précipite, après dissolution, les fluorures, par l'azotate de chaux; on filtre; on est alors dans les conditions du cas précédent.

On évaporera la liqueur avec de l'oxalate d'ammoniaque, on calcinera, on reprendra à chaud par un liquide alcoolique à 50 p. 100 d'alcool, en ajoutant une quantité d'azotate de chaux équivalente aux sels alcalins; on filtrera, on lavera avec le même liquide; on ramènera par évaporation à quelques centimètres cubes dans une petite capsule plate.

Traitement de cette solution de potasse par la liqueur phosphomolybdique. — Après avoir très légèrement acidulé ce liquide par l'acide nitrique, on ajoute environ 4 cent. cubes de liqueur phosphomolybdique pour 10 milligr. de potasse anhydre présumée. On évapore à siccité à 50°, sans attendre que la matière bleuisse sur les bords. Et, sans attendre que la matière reprenne de l'humidité par l'air en se refroidissant, on procède de suite à la filtration et au lavage du précipité: on emploie deux petits filtres de 4 centimètres de hauteur, doubles, exactement tarés avec 2 grammes. On lave le précipité successivement avec de petites portions de la liqueur de lavage précédente, dont on emploie 60 cent. cubes en tout, et on

jette sur le filtre de droite appliqué exactement aux parois de l'entonnoir qu'on couvre avec une lame de verre. On fait passer un peu de la même liqueur par le filtre de gauche ; on laisse égoutter, on sèche à 50° ; on pèse. Le poids, multiplié par $\frac{5,2}{100}$ donne la potasse anhydre.

Vérification. — On dose la potasse : dans 5 cent. cubes d'une solution de nitre à 8 grammes par litre ; dans 30 grammes de terre ; dans 30 grammes de la même terre additionnée de 5 cent. cubes de la même solution de nitre. On obtient respectivement les poids de phosphomolybdate : 360 milligr. ; 890 milligr. ; 1 258 milligr.

La différence des deux derniers nombres attribuable à la potasse ajoutée est 368 milligr. au lieu de 360. Rapport : $\frac{368}{360} = 1,02$.

La concordance est suffisante.

RECHERCHES

SUR

L'ALIMENTATION AZOTÉE

DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

PAR

H. HELLRIEGEL et H. WILFARTH

EN COLLABORATION AVEC

H. Rœmer, R. Günter, H. Mœller et G. Vimmer.

(*Suite.*)

VIII.

Recherches faites en 1886.

Dans nos essais culturaux de 1886, nous avons éprouvé une perte de temps et de travail, aussi considérable qu'inattendue, par l'effet d'une circonstance que je ne veux pas passer sous silence, afin que ceux qui s'occupent d'expériences semblables puissent en faire leur profit.

Pour chasser les moindres traces d'azote que contenait encore notre sable après le lavage, nous avions résolu de ne l'employer que calciné au rouge et une fabrique de verre amie s'était obligeamment chargée de prendre soin de cette opération pour quelque quantité que nous pourrions désirer.

Mais nous devions, hélas ! faire bientôt à ce sujet un triste apprentissage, en voyant nos plantes, sur lesquelles nous avions à expérimenter, se développer, dès leur sortie de terre, très irrégulièrement, une partie même déjà à un état maladif, et en peu de temps se mon-

trer impropres à des recherches pouvant inspirer confiance. Un examen du sable calciné, fait malheureusement trop tard, nous en révéla promptement la cause, due à une réaction alcaline très sensible, provenant vraisemblablement de parties de cendres qui avaient volé sur le sable.

Il ne nous resta rien à faire qu'à abandonner toute notre expérience et à lui substituer une nouvelle série d'essais, en employant notre vieux matériel bien éprouvé. Heureusement nous avions commencé cette fois ces essais de culture de très bonne heure (dès le mois de mars), et il nous fut possible de mettre en marche notre nouvelle expérience à la fin de mai. C'était, il est vrai, très tard, mais pas trop tard, ainsi que la suite nous l'a prouvé.

a) **Orge.**

Conditions générales.

Vases : $24^{cm},5$ de hauteur, 15 et 13 cent. de diamètre.

Sable par vase : $4^{kg},600$.

Humidité du sol pendant la végétation, variant de 15 à 10 p. 100 (60 à 40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable).

Variété soumise à l'expérience : *Hordeum distichum* (Orge Chevalier).

Semence : Poids spécifique, $1^{kg},269$; poids absolu de 44 à 50 milligr. séché à l'air ; en moyenne $46^{mg},45$, avec 11.75 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 furent enlevés à l'état de jeunes plantes et 7 furent laissés jusqu'au développement complet.

Période de végétation : Les grains après avoir été gonflés dans l'eau distillée, furent ensemencés avec les radicules sorties le 27 mai et sortirent de terre du 31 mai au 1er juin. Récoltés le 5 août.

Alimentation pour chaque vase :

$0^{gr},5444$ monophosphate de potasse.
0 ,1492 chlorure de potassium.
0 ,2400 sulfate de magnésie.

Et de plus :

VASE.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
118	1gr,312	0gr,224
119	1 ,312	0 ,224
120	0 ,656	0 ,112
121	0 ,656	0 ,112
122	»	»
123	»	»

Résultats.

La végétation de l'orge se fit sans aucun trouble du commencement à la fin de l'expérience.

On a trouvé dans la récolte :

VASES.	AZOTE DONNÉ.	TIGES portant épis.	LONGUEUR DE CES TIGES.	NOMBRE de grains formés.
	Grammes.		Mètres.	
118	0,224	14	0,78 — 0,91	246
119	0,224	12	0,83 — 0,89	243
120	0,112	10	0,63 — 0,78	151
121	0,112	8	0,64 — 0,81	136
122	»	4	0,18 — 0,27	0
123	»	5	0,23 — 0,27	2

VASES.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE.			PROPORTION P. 100 de la récolte totale.		POIDS moyen d'un grain sec.
		Grains.	Balles et paille.	Total.	Grains.	Balles et paille.	
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.			Grammes.
118	0,224	8,100	13,359	21,459	37.7	62.3	32,9
119	0,224	8,438	12,854	21,292	39.6	60.4	34,8
120	0,112	4,506	7,443	11,949	37.7	62.3	29,9
121	0,112	4,607	8,109	12,716	36.2	63.8	33,9
122	»	»	0,459	0,459	»	100.0	»
123	»	0,032	0,554	0,586	5.5	94.5	16,0

b) **Avoine.**

Conditions générales.

Pour la dimension des vases, la quantité de sable et l'humidité du sol, les conditions générales étaient les mêmes que celles des recherches précédentes.

Variété : *Avena sativa* (avoine d'échantillon de Metz et Cie).

Semence : Poids absolu, de 39 à 45 milligr., séchée à l'air, soit en moyenne par grain $41^{mg},80$ avec 13.01 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains dont 7 furent retirés et 7 laissés jusqu'au développement complet.

Période de végétation : les grains préalablement gonflés dans l'eau distillée ont été plantés le 28 mai avec leur radicule sortie et ont levé le 1er juin.

Récolte, le 5 août.

Alimentation pour chaque vase :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,1492
Sulfate de magnésie	0,2400

Et de plus :

VASES.	NITRATE de chaux.	TENEUR en azote.
124	$1^{gr},312$	$0^{gr},224$
125	1 ,312	0 ,224
126	0 ,656	0 ,112
127	0 ,656	0 ,112
128	»	»
129	»	»

Résultats.

La levée et la végétation furent généralement bonnes. Dans le vase 125 seul, une plante s'est anormalement développée au moment de l'épiage; la tige principale demeura emprisonnée et au lieu de monter donna trois pousses latérales faibles qui portèrent des panicules non moins faibles avec des grains mal formés.

La récolte a donné :

VASES.	AZOTE DONNÉ.	TIGES portant des panicules.	LONGUEUR de ces tiges.	NOMBRE de grains formés.
	Grammes.		Mètres.	
124	0,224	9	0,79 — 0,94	301
125[1]	0,224	11	0,43 — 0,99	339
126	0,112	7	0,70 — 0,87	211
127	0,112	7	0,54 — 0,97	210
128	»	5	0,18 — 0,22	3
129	»	6	0,18 — 0,22	0

VASES.	AZOTE donné.	SUBSTANCE SÈCHE.			PROPORTION P. 100 du total de la récolte.		POIDS moyen d'un grain sec.
		Grains.	Balles et paille.	Total.	Grains.	Balles et paille.	
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.			
124	0,224	8,688	12,014	20,702	42.0	58.0	28.9
125[1]	0,224	7,928	10,667	18,595	42.6	57.4	23.4
126	0,112	4,724	6,876	11,600	40.7	59.3	22.4
127	0,112	4,518	6,944	11,462	39.4	60.6	21.5
128	»	0,052	0,400	0,452	11.5	88.5	17.3
129	»	»	0,439	0,439	»	100.0	»

1. Le plant fut anormal.

c) **Pois.**

Conditions générales.

Vases : 24 cent. de hauteur, 15 et 13 cent. de diamètre.

Sable dans chaque vase : 4 kilogr.

Humidité du sol pendant la végétation : de 15 à 10 p. 100, correspondant à 60 et 40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable.

Variété : Pois « Gloire de Cassel » de Gebr. Dippe-Quedlindburg.

Semence : poids absolu de 200 à 250 milligr., en moyenne 231^{mg},7 par grain séché à l'air, avec 12.4 p. 100 d'eau.

Ensemencement : dans chaque pot 2 grains dont la radicule était sortie après un séjour dans l'eau distillée.

Période de végétation : plantation, le 5 mai ;
Levée, 2 et 3 juin ;
Récolte, 4 septembre.
Alimentation pour chaque vase :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,1492
Sulfate de magnésie	0,2400

C'est cette alimentation que reçurent tous les vases au nombre de 42 ; mais 30 numéros, de 130 à 159 inclusivement, furent laissés, jusqu'à nouvel ordre, sans autre nourriture additionnelle. Les 10 numéros, 160 à 169, reçurent, outre cette alimentation, une dose de 25 cent. cubes répondant à 5 grammes de terre de l'infusion que nous avions préparée, comme il a été dit plus haut avec la marne lehmeuse humique prise dans notre champ d'expériences. Enfin, pour les deux numéros 170 et 171, après que la solution nutritive et les grains de semence eurent été stérilisés de la façon que nous avons indiquée, puis le sable calciné dans le creuset Chamotte au fourneau à réverbère, les vases reçurent l'infusion stérilisée, et le sol de culture demeurant, du commencement à la fin de l'expérience, couvert de ouate stérilisée, ne fut arrosé que d'eau distillée, qu'on avait préalablement fait bouillir.

Il ne fut donné aucune dose additionnelle de nitrates ou d'autres combinaisons azotées.

Résultats.

La levée fut parfaite : sur nos 84 jeunes plants de pois, quatre seulement (un dans chacun des n°s 151 et 165 et deux dans le n° 168), ne nous satisfaisant pas complètement, furent immédiatement remplacés par de bons grains, qui avaient germé plus tard.

Quant au développement ultérieur des plantes, il me suffira de donner les quelques notes suivantes empruntées à notre journal d'observations.

Pendant les deux premières semaines de juin, on ne remarque aucune différence dans l'état ni dans l'apparence des plantes.

A ce moment toutes uniformément commencent à indiquer l'é-

puisement de leur réserve par une coloration plus claire et jaunâtre ; mais au 13 juin déjà en les examinant de près, on peut s'apercevoir que la série des nos 160 à 169 a un reflet un peu plus vert que la série des nos 130 à 159, et cette différence s'accuse plus clairement de jour en jour. Cependant quelques numéros aussi ou quelques plantes de cette dernière série commencent à reverdir, mais les autres restent jaunes.

Dès le 18 juin, l'effet de l'infusion terreuse est décisif. Les vingt plantes de la série 160 à 169 ont triomphé de la période d'inanition de l'azote, elles prennent sans aucune exception l'apparence verte, assimilent et commencent à se développer, tandis que la série 130 à 159 présente l'ancien aspect que nous connaissons, état tout à fait inexplicable, dans lequel certaines plantes se montrent luxuriantes, pendant que d'autres souffrent et sont affamées.

Le 29 juin, toutes les plantes de la série 160-169 sont magnifiques, elles ont la belle teinte verte d'un végétal bien alimenté, elles croissent rapidement (dans la plupart, la dixième feuille s'est déjà développée) et les jeunes feuilles s'étalent larges et brillantes de vigueur.

Les deux numéros stérilisés ont constamment rétrogradé depuis le milieu de juin, toute trace de verdure a presque disparu et aucun organe nouveau ne s'est formé.

Aujourd'hui (29 juin), la série 130-159 a un aspect fort bigarré, on y voit :

Dans les nos 131 et 147 deux plants qui sont aussi beaux que ceux de la série 160-169, qui ont reçu l'infusion terreuse.

Pour les nos 130, 133, 139, 146 et 158, une seule plante dan-chacun d'eux est parvenue au même développement que les précédentes, les autres sont restées loin en arrière, ou se trouvent encore complètement dans la période d'inanition.

On remarque en particulier comme mal venus, quoique sortis de cette période :

Dans les nos 132, 140, 141, 145, 148, 154, 155 et 157 deux sujets ;

Dans les nos 138, 139, 149, 150, 151, 153 un sujet pour chacun d'eux, les autres étant restés tout à fait en arrière.

Après la pousse de la sixième feuille, sont demeurées stationnaires, complètement jaunes et d'aspect misérable :

Les deux plantes des n°s 135, 136, 137, 142 et 144, puis donnant un peu plus d'espoir, ayant déjà une petite pointe de verdure, les deux plantes des n°s 134, 143, 156 et 159.

Dans le cours de l'expérience, à partir de ce moment, la végétation des pois conserva fidèlement le caractère que nous avons dépeint plus haut.

Dans la série 130 à 159, abandonnée à elle-même et laissée sans soins ultérieurs, quelques sujets furent luxuriants, d'autres simplement affamés se développèrent avec toutes les allures imaginables, confusément et sans aucune régularité, jusqu'à la maturité.

Dans la série 160-169, ayant reçu une addition d'infusion terreuse, toutes les plantes ont crû d'une façon satisfaisante et avec la plus grande régularité.

Les plantes des deux numéros stérilisés, 170 et 171, tout d'abord parurent pendant longtemps ne pouvoir porter plus que les six premières feuilles, formées à l'aide de la réserve du grain de semence. Mais au moment où elles étaient à moitié épuisées et desséchées, au milieu de juillet, jaillit sur les quatre sujets une pousse latérale qui épuisa leurs dernières ressources et, par le développement de quatre autres très petites, termina l'existence affamée des misérables feuilles.

Avant la maturité on récolta, ou plutôt on retira de l'expérience :

1° Pour servir à l'examen des racines et des protubérances qui s'y trouvent ;

Au 30 juin :

De la 1re série, les n°s 133, 136, 142, 152 et 153 ;

De la 2e série, le n° 163.

Puis au 27 juillet :

De la 1re série, les n°s 134, 137 et 140 ;

2° Pour résoudre par une expérience, dont nous rendrons compte plus loin, la question de savoir si l'azote libre ou l'azote combiné de l'atmosphère doit être admis comme une source d'alimentation pour les légumineuses ;

Au 2 juillet :
De la 2e série, les nos 162, 164, 166, 167 et 168.
Les autres plantes, récoltées mûres, ont donné :

VASES.	PLANTES.	RENDEMENT EN SUBSTANCE SÈCHE. Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	NOMBRE des grains formés.
		Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	
		SÉRIE I. — *Sans infusion terreuse et non stérilisée.*				
130	a + b	8,956	3,081	8,335	20,372	61
131	a + b	5,290	2,215	7,548	15,053	34
132	a + b	5,799	1,645	4,799	12,243	35
135	a	»	»	0,297	0,297	»
	b	1,363	0,425	1,544	3,332	6
	a + b	1,363	0,425	1,841	3,629	6
138	a	0,466	0,188	1,080	1,734	4
	b	2,425	0,529	2,526	5,480	19
	a + b	2,891	0,717	3,606	7,214	23
139	a + b	3,921	1,442	5,454	10,817	31
141	a + b	2,405	0,845	3,865	7,115	19
143	a + b	0,837	0,488	1,968	3,293	7
144	a + b	0,293	0,147	1,200	1,640	5
145	a + b	6,540	1,887	4,216	12,643	44
146	a + b	6,037	1,967	5,186	13,190	36
147	a + b	7,564	2,350	7,391	17,305	40
148	a	0,892	0,645	2,266	3,703	9
	b	0,906	0,252	1,121	2,279	8
	a + b	1,798	0,797	3,387	5,982	17
149	a	3,897	0,813	3,016	7,726	29
	b	0,920	0,310	0,924	2,154	7
	a + b	4,817	1,123	3,940	9,880	36
150	a + b	3,740	1,232	3,671	8,643	24
151	a + b	4,963	1,543	4,772	11,278	39
154	a + b	5,735	1,749	4,544	12,028	32
155	a + b	7,607	2,292	6,051	15,950	52
156	a + b	0,825	0,704	2,889	4,418	10
157	a + b	6,195	1,935	4,453	12,583	40
158	a + b	8,071	2,095	6,976	17,142	42
159	a + b	0,450	0,252	1,160	1,862	5

VASES.	PLANTES.	RENDEMENT EN SUBSTANCE SÈCHE.				NOMBRE des grains formés.
		Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	
		Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	
		Série II. — Avec addition d'infusion terreuse.				
160	a + b	5,797	1,885	8,107	15,789	27
161	a + b	9,123	2,134	7,511	18,768	53
165	a + b	8,878	2,503	8,362	19,743	53
169	a + b	6,673	2,105	7,422	16,200	32

VASES.	PLANTES.	SUBSTANCE SÈCHE.					
		Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
				Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
		Série III. — Stérilisée.					
170	a	»	»	0,205	0,205	0,045	0,250
	b	»	»	0,230	0,230	0,035	0,265
	a + b	»	»	0,435	0,435	0,080	0,515
171	a	»	»	0,262	0,262	0,040	0,302
	b	»	»	0,225	0,225	0,032	0,257
	a + b	»	»	0,487	0,487	0,072	0,559

Recherche supplémentaire.

Nous avons pensé que nous ne compromettrions en rien le résultat de nos cultures de pois, si nous réunissions, en le juxtaposant à notre expérience, un petit essai supplémentaire et, le 25 juin, alors que le sort de nos pois était décidé, que quelques-uns d'entre eux assimilant déjà activement, les autres restaient plongés dans leur période d'inanition, nous avons planté, dans chacun des vases de la série 130 à 169, deux grains d'orge et deux graines de colza.

La raison, qui nous y poussa, est assez facile à comprendre et plus loin nous saisirons l'occasion d'y revenir avec plus de détails. Il suffit de dire ici que toutes ces petites plantes levèrent bien et

qu'elles prolongèrent leur vie jusqu'à formation de la tige et de la fleur, quelques-unes même montrèrent des épis ou des siliques, tout en restant néanmoins toutes à l'état de miniatures. Elles se comportèrent sans exception comme des plantes poussant dans un sol dépourvu d'azote et s'affamèrent lentement, quelle que fût la nature du sol dans lequel elles se trouvaient; que la végétation des pois y fût belle ou misérable, qu'on arrosât le sable ou non d'infusion terreuse.

Pour en tirer un enseignement plus précis, le poids de chacune de ces plantes a été déterminé à la fin de l'expérience et on a trouvé les taux suivants de substance sèche pour la partie aérienne :

	GRAMMES.	GRAMMES.
	—	—
Pour l'orge.	0,061	0,107
Pour le colza	0,007	0,012

d) Plantes diverses.

La circonstance fatale, mentionnée au début de ce chapitre, qui, en 1886, nous fit l'obligation d'abandonner toute notre expérience par suite de la composition défectueuse de notre sable, nous avait tant fait perdre de temps que nous fûmes forcés, pour une seconde série d'essais, de nous borner à une seule espèce de légumineuses, les pois, malgré le désir que nous avions de les faire porter au moins sur deux variétés.

Il ne nous tenait pas moins au cœur d'examiner comment se comporteraient les légumineuses en employant des infusions terreuses de différentes origines, et il était possible, en partant de notre point de vue, d'obtenir la constatation de différences caractéristiques suffisamment claires sur leur influence.

Le désir de ne pas terminer cette année en restant dans une obscurité complète sur deux points, nous engagea donc à mettre en cours les essais suivants vers le milieu de juillet.

Nous n'ignorions pas qu'ils ne pouvaient servir qu'à nous orienter et que les plantes n'arriveraient plus à maturité, mais nous pouvions sûrement espérer que nous les verrions atteindre un développement suffisant pour indiquer sans laisser de doutes, si elles avaient ou non assimilé de l'azote.

En vue de ce résultat, 42 vases furent remplis de la façon accoutumée chacun avec 4 kilogr. de sable, auquel furent mélangés 4 grammes de carbonate de chaux, et on donna, par vase, le mélange nutritif suivant :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,1492
Sulfate de magnésie	0,2400

Les 42 vases furent partagés en six séries :

La série I, 9 vases, nos 172-180, ne reçut aucune autre alimentation ;

La série II, 9 vases, nos 181-189, a reçu pour chaque vase une dose d'environ 5 grammes d'infusion faite avec de la terre *marno-lehmeuse humique* prise à notre champ d'expérience près de Bernburg ;

La série III, 9 vases, nos 190-198, a reçu une infusion de terre sableuse prise dans un champ de lupins près de la station du chemin de fer de Güterglück (correspondant de même à 5 grammes de terre par vase).

La série IV, 9 vases, nos 199-207, a reçu une dose de 0gr,41 de nitrate de chaux, correspondant à 0gr,007 d'azote ;

La série V, 3 vases, nos 208-210, a reçu 0gr,656 de nitrate de chaux correspondant à 0gr,112 d'azote par vase ;

La série VI, 3 vases, nos 211-213, a reçu de même 0gr,656 de nitrate de chaux correspondant à 0gr,112 d'azote et de plus la même quantité que la série II d'infusion de la terre marno-lehmeuse, tirée de notre champ d'expériences.

Le 25 juillet, tous ces vases furent ensemencés de diverses graines, en sorte que chacun d'eux fut planté de 3 à 5 espèces différentes placées les unes à côté des autres.

On met ainsi :

Dans les numéros	172, 173 et 174,	série I	2 plantes chacune de	Orge, colza, moutarde blanche, pois et trèfle rouge.
—	—	181, 182 et 183,	— II		
—	—	190, 191 et 192,	— III		
—	—	199, 200 et 201,	— IV		
—	—	208,	— V		
—	—	211,	— VI		

Dans les numéros	175, 176 et 177,	série I	2 plantes chacune de	Avoine, sarrasin et lupins jaunes.
— —	184, 185 et 186,	— II		
— —	193, 194 et 195,	— III		
— —	202, 203 et 204,	— IV		
— —	209,	— V		
— —	212,	— VI		
— —	178, 179 et 180,	— I	2 plantes chacune de	Orge, serradelle, vesces et fèves de marais.
— —	187, 188 et 189,	— II		
— —	196, 197 et 198,	— III		
— —	205, 206 et 207,	— IV		
— —	210,	— V		
— —	213,	— VI		

Résultats.

A la suite de hautes températures diurnes, la levée des semences fut très rapide et généralement satisfaisante. La première période de végétation, caractérisée par l'épuisement de la réserve nutritive de la semence, varia naturellement avec chaque espèce de plantes suivant la grosseur du grain. C'est ainsi, par exemple, qu'une très grande différence s'accuse entre le développement d'une fève de marais et d'une graine de colza, et cette période fut d'une durée très inégale.

Une séparation marquée se fit remarquer dans les plantes, dès que se termina ce qu'on peut appeler la vie germinative. A ce moment toutes celles des trois premières séries qui n'avaient reçu aucune addition de nitrates, passèrent par la période connue d'inanition, tandis que dans tous les numéros des trois dernières séries auxquels on avait donné du nitrate à plus ou moins haute dose, la végétation suivit son cours sans aucun trouble.

Toutefois, dans les numéros de la quatrième série, qui n'avaient à leur disposition que 0gr,007 d'azote sous forme de nitrate, ces heureuses conditions se maintinrent peu de temps ; mais on doit expressément signaler que l'effet d'une dose aussi extraordinairement faible d'azote fut néanmoins très sensible.

Dans les cinquième et sixième séries, l'influence favorable des hautes doses d'azote sur le cours ultérieur de la végétation se manifesta, et de façon durable, dans l'orge, l'avoine, le colza et le sarrasin. Mais pour les six variétés de légumineuses elle devint incertaine dans la suite ; ainsi, dans la deuxième série les fèves et les vesces

seules végétèrent bien, quoique très irrégulièrement toujours ; les pois et le trèfle poussèrent assez mal dans la cinquième série, mais essentiellement mieux dans la sixième ; enfin les serradelles et les lupins se développèrent d'une façon peu satisfaisante dans les deux séries.

Mais la conduite ultérieure des plantes, qui, formant les trois premières séries, n'avaient reçu aucune dose de nitrates, fut pour nous du plus haut intérêt, en nous offrant les observations suivantes :

L'orge, l'avoine, le colza et le sarrasin demeurèrent, dans ces trois séries, dans un état constant d'inanition et ne parurent utiliser dans aucun cas l'infusion terreuse qui leur fut donnée.

Les fèves, les vesces, les pois et le trèfle qui, dans les vases de la première série seuls, n'avaient reçu aucun supplément d'alimentation, ne montrèrent pour la plupart aucune végétation et quelques sujets seulement commencèrent à assimiler après un temps fort long. Dans la deuxième série, à laquelle nous donnions une infusion de notre terre marno-lehmeuse de Bernburg, ces plantes mirent peu de temps à sortir de l'état d'inanition, sans une seule exception, et dès lors assimilèrent et crurent fort bien. Dans la troisième série, qui était arrosée avec l'infusion de la terre sableuse de Güterglück, elles surmontèrent toutes aussi la période d'inanition, mais dans la suite elles se développèrent visiblement et très sensiblement moins bien, que celles de la seconde série.

Les serradelles et les lupins se comportèrent, dans la première et même dans la seconde série, à peu près de la même manière que l'orge, l'avoine, etc., c'est-à-dire qu'ils s'affamèrent et ne donnèrent aucun produit. Dans la troisième série seule, toutes les plantes verdirent dès le 24 août, se développèrent rapidement et surpassèrent en peu de temps les pois, le trèfle, les vesces aussi bien que les fèves par le luxe de leur végétation.

Cette séparation des six légumineuses en deux groupes, dont l'un se montrait au plus haut point sensible à l'infusion de terre marno-lehmeuse et à un degré plus faible à l'infusion de terre sableuse, dont l'autre au contraire n'éprouvait aucune réaction sous l'influence de la première infusion, mais utilisait visiblement et très puissamment la seconde, cette division, dis-je, si tranchée nous sembla caractéristique.

Pour chaque essai il y avait trois numéros de contrôle et dans aucun d'eux rien ne démentit les faits que nous venons de décrire. Toute idée d'une influence accidentelle sur le résultat doit donc être écartée.

Au commencement de septembre, les différences considérables qu'on pouvait constater dans l'état des plantes, ne laissèrent plus subsister aucun doute sur l'exactitude de l'observation.

Le 16 septembre, chacune des plantes de contrôle des quatre premières séries fut arrachée pour en soumettre les racines à un examen et pour faire servir les spécimens à une démonstration [1].

Tous les autres végétaux restèrent en place jusqu'au commencement de novembre, et à ce moment, à l'exception de celles qui étaient affamées, les plantes parvinrent généralement à montrer leurs fleurs sans que les conditions réciproques, que nous avons indiquées plus haut, eussent éprouvé aucune modification.

Une seule exception est à signaler, pour rendre hommage à la vérité.

Dans les deux n°s 193 et 195 de la série III, qui étaient restés en place, les lupins dans l'un végétèrent normalement jusqu'à la fin de l'expérience et tout aussi bien que s'ils avaient poussé dans les champs, tandis que dans l'autre ils jaunirent d'une façon particulière vers le milieu d'octobre et devinrent malades.

La cause de ce phénomène n'est pas obscure pour nous et nous ne manquerons pas, quand l'occasion s'en présentera plus loin, d'en donner l'explication.

Les plantes, sur lesquelles nous expérimentions ici, n'ayant pas atteint le terme naturel de leur végétation et ayant déjà souffert du froid au commencement de novembre, nous nous sommes abstenus de toute recherche quantitative. Nous nous servirons seulement de cette expérience comme guide dans nos essais ultérieurs et c'est elle déjà qui nous a poussés à étendre, en 1887, le cercle de nos expériences en y introduisant le lupin et la serradelle.

---

1. A l'occasion de la réunion des naturalistes à Berlin, ces échantillons ont été mis sous les yeux des membres de cette assemblée.

RECHERCHES FAITES EN 1887.

a) **Avoine.**

Conditions générales.

Vases : 24 cent. de hauteur, 15 et 13 cent. de diamètre.

Sable : 4 kilogr. par vase.

Humidité du sol : elle varia pendant la période de végétation de 17 1/2 à 10 p. 100 (70-40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable) ;

Variété mise en observation : avoine de choix.

Semence : poids absolu 40 et 46 milligr., soit en moyenne, par grain séché à l'air, 44^{mg},65 avec 12.9 p. 100 d'eau.

Ensemencement : 14 grains par vase, dont 7 furent écartés après la levée.

Période de végétation : les grains de semence après avoir été gonflés dans l'eau distillée ont été mis dans le sol le 9 mai, avec leurs radicules sorties ;

Levée des plantes, le 15 mai ;

Récolte, le 4 août.

Alimentation par vase :

	GRAMMES.	
Monophosphate de potasse	0,5444	en dissolution.
Chlorure de potassium	0,2984	en dissolution.
Chlorure de calcium	0,2220	en dissolution.
Sulfate de magnésie	0,2400	en dissolution.
Carbonate de chaux sec, mélangé au sable	4,0000	

Le sable et la dissolution alimentaire pour tous les essais, avant d'être introduits dans les vases, furent chauffés de la façon décrite plus haut ; nous n'avions pas, cette fois, l'intention de les stériliser, mais simplement de voir si la matière de notre sol éprouvait par cette opération une modification qui influerait sensiblement sur la végétation.

Des 20 vases sur lesquels portait l'expérience, on fit 5 séries de la façon suivante :

Série I, sans addition d'azote :

Les n°s 214 et 215 furent laissés sans aucune alimentation supplémentaire.

Les n°s 216 et 217 reçurent une infusion de terre marno-lehmeuse humique (champ d'expériences) à la dose de 25 centimètres cubes correspondant à 5 grammes de terre.

Les n°s 218 et 219 reçurent une dose additionnelle de 36 grammes de carbonate de chaux, en sorte que la quantité totale de ce sel montait à 40 grammes, soit 1 p. 100 du sol de culture.

Série II, avec addition d'azote, par vase :

N°s 220 et 221 : 0^{gr},328 nitrate de chaux = 0^{gr},056 azote.

N°s 222 et 223 : 0^{gr},656 — — = 0^{gr},112 —

Série III avec addition d'azote et d'infusion terreuse semblable à celle des n°s 216 et 217. — Azote donné à chaque vase :

N°s 224 et 225 : 0^{gr},328 nitrate de chaux = 0^{gr},056 azote.

N°s 226 et 227 : 0^{gr},656 — — = 0^{gr},112 —

Série IV, avec dose d'azote et de carbonate de chaux. Carbonate de chaux en quantité égale à celle des n°s 218 et 219, azote par vase :

N°s 228 et 229 : 0^{gr},328 nitrate de chaux = 0^{gr},056 azote.

N°s 230 et 231 : 0^{gr},656 — — = 0^{gr},112 —

Série V, avec une addition très faible d'azote s'élevant par vase :

N°s 232 et 233 : 0^{gr},041 nitrate de chaux = 0^{gr},007 azote.

Résultats.

Cette année la levée des graines fut magnifique et par suite l'état des plantes se montra d'une égalité parfaite au début de l'expérience.

Dès le commencement de juin, tous les numéros de la première série (sans azote) demeurèrent en arrière des autres. Ce retard était déjà très sensible le 3 de ce mois.

La faible dose de 0^{gr},007 d'azote donnée à chaque vase de la cinquième série produisit un effet frappant, en ce sens que l'état d'inanition apparaissait dans l'aspect extérieur des plantes plusieurs jours plus tard qu'il ne s'était révélé dans les plantes de la première série ; celles-ci du reste, se montrèrent visiblement par la suite constamment inférieures à celles de la cinquième.

Dans les numéros qui reçurent une infusion terreuse et de la chaux, on ne constata jamais, ni nulle part, d'effet apparent, quel qu'il fût, positif ou négatif, quand cette alimentation n'était pas accompagnée d'une dose de nitrate.

Le développement de nos plantes se poursuivait ainsi favorablement, quand un jour se produisit un trouble, que nous ne pouvons passer sous silence et qui eut une influence pernicieuse, dans des séries distinctes, sur la formation de la fleur et du fruit. La cause nous en est connue ; nous la trouvons dans l'émission toute temporaire[1] d'une fine poussière de soude provenant d'une fabrique située au delà de la Saale, à un kilomètre, à vol d'oiseau, à l'Est de notre Station. Dans le même temps son influence se révélait par un triste aspect donné à des récoltes au champ, qui étaient placées dans la direction du vent d'Ouest dominant et plus près de la fabrique : nous ne pûmes garder aucun doute au sujet de cette perturbation. Nous n'avons été heureusement effleurés qu'une fois par cet accident, nous venant d'un violent coup de vent d'Est-Sud-Est. Les faibles traces d'alcali qui se transportèrent ainsi ne suffirent pas toutefois pour nuire à la partie du feuillage des plantes, qui était fortement constituée (et même dans le voisinage immédiat de la fabrique, aucune influence pernicieuse ne se fit sentir, tant qu'il s'agit de plantes annuelles) ; mais elles étaient cependant assez puissantes pour agir défavorablement sur les organes encore tendres de la floraison. A ce moment, sur nos pois, qui fleurissaient, les fleurs, quoique belles et bien fournies, demeurèrent improductives et l'avoine, qui était arrivée à la période de la fructification, porta beaucoup de grains stériles.

Comme la récolte et les déterminations de l'azote le font voir, nous avons pu constater seulement l'introduction des substances assimilées dans les produits, mais non l'assimilation elle-même, la quantité de substance sèche formée, la quantité d'azote recueillie par la plante ; aussi le but principal de notre expérience n'a-t-il pu être atteint.

Il a été trouvé dans les récoltes :

---

1. Cette cause de perturbation a aujourd'hui disparu.

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			NOMBRE DES		LONGUEUR des 7 tiges mères.	NOMBRE DES		
	Azote.	Infusion terreuse.	Carbonate de chaux.	tiges fructifiées.	pousses inféondes.		épis.	grains plus ou moins formés.	grains restés vides.
	Gr.	Cm³.	Gr.			Centimètres.			
				Série I. — *Sans azote.*					
214	»	»	4	6	4	21 — 23	8	8	1
215	»	»	4	6	4	21 — 22	8	6	1
216	»	25	4	10	4	22 — 23	12	3	9
217	»	25	4	8	2	21 — 25	11	6	6
218	»	»	40	7	4	21 — 26	10	7	6
219	»	»	40	7	4	20 — 25	12	4	9
				Série II. — *Avec azote.*					
220	0,056	»	4	7	»	49 — 59	51	56	23
221	0,056	»	4	7	»	53 — 56	60	56	49
222	0,112	»	4	7	1	71 — 82	120	147	80
223	0,112	»	4	7	2	67 — 78	129	111	118
				Série III. — *Avec azote et infusion terreuse.*					
224	0,056	25	4	7	»	47 — 59	51	47	38
225	0,056	25	4	7	»	47 — 60	54	49	44
226	0,112	25	4	7	2	70 — 81	129	95	124
227	0,112	25	4	7	3	68 — 79	131	102	118
				Série IV. — *Avec azote et chaux.*					
228	0,056	»	40	7	»	46 — 62	62	58	45
229	0,056	»	40	7	»	46 — 60	62	58	39
230	0,112	»	40	7	3	68 — 79	134	114	117
231	0,112	»	40	7	2	71 — 81	142	161	90
				Série V. — *Avec traces d'azote.*					
232	0,007	»	4	7	1	21 — 29	15	8	7
233	0,007	»	4	7	»	24 — 31	12	12	4

VASES.	ALIMENTS DONNÉS.			RENDEMENT EN SUBSTANCE SÈCHE.				
	Azote.	Infusion terreuse.	Carbonate de chaux.	Grains plus ou moins formés.	Grains vides.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.
	Gr.	Cm^3.		Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
				Série I. — *Sans azote.*				
214	»	»	4	0,067		0,026	0,496	0,589
215	»	»	4	0,035		0,061	0,508	0,604
216	»	25	4	0,048		0,094	0,517	0,659
217	»	25	4	0,158		0,069	0,511	0,738
218	»	»	40	0,145		0,061	0,452	0,658
219	»	»	40	0,092		0,079	0,497	0,668
				Série II. — *Avec azote.*				
220	0,056	»	4	1,376	0,077	0,185	2,965	4,603
221	0,056	»	4	1,527	0,258	0,225	3,654	5,664
222	0,112	»	4	4,086	0,460	0,468	7,027	12,041
223	0,112	»	4	3,332	0,616	0,460	7,065	11,473
				Série III. — *Avec azote et infusion terreuse.*				
224	0,056	25	4	1,226	0,231	0,173	3,031	4,661
225	0,056	25	4	1,297	0,261	0,180	3,245	4,983
226	0,112	25	4	2,900	0,604	0,458	7,500	11,462
227	0,112	25	4	3,040	0,588	0,500	7,688	11,816
				Série IV. — *Avec azote et chaux.*				
228	0,056	»	40	1,678	0,279	0,230	3,549	5,736
229	0,056	»	40	1,373	0,300	0,242	3,536	5,451
230	0,112	»	40	3,160	0,552	0,487	7,200	11,399
231	0,112	»	40	4,519	0,512	0,520	7,292	12,843
				Série V. — *Avec très peu d'azote.*				
232	0,007	»	4	0,234		0,080	0,667	0,981
233	0,007	»	4	0,293		0,063	0,690	1,046

b) **Sarrasin.**

Conditions générales.

Vases de culture, humidité du sol, sable, aliments minéraux et préparation de ces deux derniers exactement comme dans les essais sur l'avoine.

Semence : poids absolu de 20 à 23 milligr. par grain sec.

Ensemencement : 4 grains par vase, dont deux ont été arrachés après la levée.

Période de végétation : semé le 10 mai ;

Récolté le 4 août.

Les 8 vases formant la série ont reçu :

Nos 234 et 235 : aucune addition d'aliments.

Nos 236 et 237 : une dose de la dissolution de terre marno-lehmeuse humique (champ d'expériences de la station) dans la proportion de 25 cent. cubes par vase, répondant à 5 grammes du sol.

Nos 238 et 239 : une dose de carbonate de chaux montant pour chaque vase à 40 grammes ou 1 p. 100 du poids du sable.

Nos 240 et 241 : 0gr,041 de nitrate de chaux correspondant à 0gr,007 d'azote pour chacun d'eux.

Résultats.

Toutes les plantes ont bien levé et leur état a été normal pendant les deux premières semaines de leur existence.

Mais au commencement de la troisième semaine, la végétation des nos 234 à 239 inclus s'arrêta et dès les premiers jours de juin une disette d'azote s'accusa très nettement.

Il n'y eut aucune différence entre ces trois couples de vases et nulle part ni à aucun instant ne se révéla l'influence des doses de dissolution terreuse ou de carbonate de chaux.

Tout au contraire, la faible dose d'azote nitrifié, donnée aux nos 240 et 241, se signala d'une façon très accentuée : les plantes non seulement s'élevèrent plus haut que celles des numéros précédents, mais elles furent aussi plus vigoureuses. En un mot, l'action de cette petite quantité fut beaucoup plus frappante sur le sarrasin qu'elle ne l'avait été sur l'avoine dans les expériences analogues.

La récolte a produit :

VASES.	ALIMENTS DONNÉS.			LONGUEUR DES PLANTES.		NOMBRE DES	
	Azote.	Infusion terreuse.	Carbonate de chaux.	a.	b.	grains.	grains vides.
	Grammes.	Cent. cube.	Grammes.	Mètres.	Mètres.		
234	»	»	4	0,06	0,06	»	»
235	»	»	4	0,10	0,10	1	1
236	»	25	4	0,03	0,04	»	»
237	»	25	4	0,15	0,10	»	»
238	»	»	40	0,03	0,10	»	»
239	»	»	40	0,07	0,12	2	2
240	0,007	»	4	0,17	0,20	5	5
241	0,007	»	4	0,18	0,19	2	2

VASES.	ALIMENTS DONNÉS.			RENDEMENT EN SUBSTANCE SÈCHE.		
	Azote.	Infusion terreuse.	Carbonate de chaux.	Grains.	Balles.	TOTAL.
	Grammes.	Centim. cube.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
234	»	»	4	»	0,035	0,035
235	»	»	4	0,009	0,051	0,060
236	»	25	4	»	0,023	0,023
237	»	25	4	»	0,040	0,040
238	»	»	40	»	0,042	0,042
239	»	»	40	0,004	0,061	0,065
240	0,007	»	4	0,083	0,189	0,272
241	0,007	»	4	0,013	0,144	0,157

c) **Serradelle.**

(V. pl. I.)

Conditions générales.

Vases : 24 centimètres de hauteur ; 15 et 13 centimètres de diamètre.

Sable par vase : 4 kilogr.

Humidité du sol : pendant la végétation 17 1/2 à 10 p. 100 (70 à 40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable).

Variété mise à l'étude : serradelle commune (*Ornithopus sativus*).

Semence : 100 grains pesaient ensemble secs 0gr,398.

Ensemencement : 8 graines par vase, dont 4 furent arrachées après la levée.

Période de végétation : semée le 12 mai ;

Récoltée le 8 octobre.

Alimentation de chaque vase :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,2984
Chlorure de calcium	0,2220
Sulfate de magnésie	0,2400

Tous les vases avec leur contenu ont été stérilisés de la façon qui a été indiquée plus haut.

Les 30 vases qui étaient à notre disposition pour cette expérience nous permirent de diviser l'opération en six séries pour tenter de connaître l'action d'infusions terreuses de différentes origines, fraîches et stérilisées, l'influence de plus ou moins grandes doses de nitrates avec ou sans infusion de terre, enfin celle du carbonate de chaux à plus hautes doses. En outre, nous pouvions ainsi éclaircir une question qui nous tenait au cœur depuis plusieurs années. Dans nos essais nous avions jusqu'ici donné, à peu près sans exception, l'acide phosphorique sous forme de monophosphate de potasse, et la quantité assez grande de ce sel que nous faisions entrer dans notre solution nutritive y occasionnait une réaction acide passablement forte. Ce fait était certainement sans importance pour la plupart des plantes que nous cultivions, mais néanmoins différentes observations antérieures avaient mis pour nous hors de doute qu'aucune d'elles ne pourrait supporter une acidité plus grande de la solution. Nous reviendrons avec plus de détails sur ce fait quand nous parlerons de nos cultures expérimentales sur les lupins.

Quoi qu'il en soit, il nous a semblé utile de chercher dans cette voie comment se comporteraient les légumineuses soumises à nos expériences et nous avons introduit dans une série quelques modifications à notre solution nutritive, tendant à en diminuer la réaction acide et à la transformer en une réaction alcaline. L'opération a

consisté à y ajouter du carbonate de potasse dans la proportion de 1 1/2 et 2 molécules par molécule de monophosphate de potasse.

Nous avons en conséquence institué spécialement nos essais sur la serradelle dans les conditions suivantes :

Série I, avec infusion de terre sableuse :

Les n°s 242 et 243 n'ont reçu aucun adjuvant.

Les n°s 244 et 245 ont reçu 25 cent. cubes d'infusion correspondant à 5 grammes de terre.

Les n°s 246 et 247 ont reçu 25 cent. cubes d'infusion, mais elle avait été stérilisée avant de la leur donner.

La terre qui servit à l'infusion avait été extraite le 5 mai d'un champ sablonneux au voisinage de la station du chemin de fer de Güterglück, champ qui portait du seigle succédant à des lupins. L'infusion a été préparée avec la terre ayant son humidité naturelle.

Pour la stériliser, l'infusion versée dans le récipient formé par une couche de ouate fut placée pendant 1/4 d'heure d'abord sur la lampe, et deux jours après, elle fut portée à l'ébullition pendant 4 heures dans l'étuve stérilisatrice.

Série II, avec diverses réactions de la solution nutritive :

Les n°s 248 et 249, restés sans adjuvant.	Ces 4 numéros ont reçu en même temps une dose de 25 cent. cubes chacun d'infusion de terre sableuse.
Le n° 250, avec un adjuvant de 0^{gr},276 de carbonate de potasse.	
Le n° 251, avec un adjuvant de 0^{gr},415 de ce même sel.	

Série III, avec infusion de terre lehmeuse :

Les n°s 252 et 253 ont reçu 25 cent. cubes de cette infusion, correspondant à 5 grammes de terre.

La terre d'infusion (marno-lehmeuse humique) fut prise dès le mois d'avril au champ d'expériences de la station, qui plusieurs années auparavant avait porté des betteraves sucrières alternant avec du colza (considéré comme plante à nématodes). Cette terre avait été déjà passablement séchée à l'air quand elle fut employée à l'infusion.

Série IV, avec azote nitrifié aux doses suivantes :

N°s 254 et 255 :	0^{gr},328 nitrate de chaux	= 0^{gr},056 Az.	
N°s 256 et 257 :	0 ,656 — —	= 0 ,112 —	
N°s 258 et 259 :	0 ,328 — —	= 0 ,056 —	Et chacun, en outre, 25 cent. cubes d'infusion de terre sableuse.
N°s 260 et 261 :	0 ,656 — —	= 0 ,112 —	

Série V, avec une très faible dose d'azote :

N°s 262 et 263 : 0^{gr},041 nitrate de chaux = 0^{gr},007 Az.
N°s 264 et 265 : 0 ,041 — — = 0 ,007

et ces deux derniers reçurent, en outre, chacun 25 cent. cubes d'infusion de terre sableuse, mais préalablement stérilisée, comme pour les n°s 246 et 247.

Série VI, avec une forte dose de carbonate de chaux.

Les 6 numéros de cette série ont tous reçu, avant tout autre apport, 40 grammes chacun de carbonate de chaux, c'est-à-dire 1 p. 100 du poids du sol. Ce sel, après avoir été stérilisé par calcination, fut mélangé au sable des vases, auquel fut donné ensuite, comme supplément d'alimentation :

N°s 266 et 267 : rien ;

N°s 268 et 269 : 25 cent. cubes chacun d'infusion de terre sableuse ;

N°s 270 et 271 : 0^{gr},656 de nitrate de chaux équivalant chacune à 0^{gr},112 Az.

Les n^{os} des séries I, III, IV et V, nous le répétons encore une fois, avaient reçu chacun une dose de 4 grammes, soit 1 p. 100 du sol, de carbonate de chaux stérilisé, tandis que la série II, pour répondre au but de l'expérience, n'avait reçu aucune addition de chaux.

Résultats.

La serradelle leva tard (il lui fallut environ 14 jours) et moins régulièrement que les autres plantes, mais dès qu'on eut enlevé aux vases la moitié des graines germées qu'ils portaient, un état satisfaisant et uniforme ne tarda pas à s'établir dans toutes les séries.

Les premières pousses furent lentes à se développer, ainsi que cela arrive en plein champ. Mais une différence frappante se laissa bientôt apercevoir dans les numéros qui n'avaient pas reçu de nitrates : dès la formation de la troisième feuille, ils entrèrent d'une façon prononcée dans la période d'inanition, c'est-à-dire qu'ils perdirent leur teinte verte et leur végétation sembla s'arrêter. Les plantes, au contraire, qui avaient reçu l'alimentation azotée, conservèrent toujours la couleur verte qui indique la santé et se dévelop-

pèrent sans aucune interruption. Ce bénéfice fut acquis dès l'origine non seulement aux numéros ayant reçu les plus hautes doses de nitrates, mais encore aux numéros compris entre 262 et 265, qui n'avaient reçu que 7 milligr. d'azote ; c'est ainsi que leurs plantes pouvaient, au 22 juin, montrer de 5 à 6 feuilles d'un vert clair et d'une hauteur de 4 à 5 cent., tandis que celles qui avaient été laissées en dehors de l'alimentation azotée n'avaient que 2 à 3 feuilles jaunes et misérables de 2 à 3 cent. de hauteur.

A ce moment, vers le 22 juin, il se révéla aussi dans la croissance des plantes de chaque série et de chaque couple de numéros des différences frappantes, dont nous pûmes promptement déterminer les caractères essentiels.

Dans les numéros de la série V, l'action des faibles doses de nitrate fut rapidement épuisée et la période d'inanition commença pour eux de la même façon désastreuse que pour ceux dont le milieu de culture était complètement dépourvu d'azote.

Les huit numéros de la série IV, qui avaient reçu de plus fortes doses de nitrate eurent une croissance constante et normale en proportion avec les quantités d'azote données, de telle sorte que jusqu'à la fin de juillet aucune différence manifeste ne se signala entre les numéros 245 à 257, qui n'avaient pas eu l'adjuvant d'infusion terreuse, et les numéros compris entre 258 et 261, qui en avaient été alimentés. Au commencement d'août, les premières perdirent cependant peu à peu leur teinte verte, prirent un aspect malade et quelques semaines plus tard l'effet de l'infusion terreuse se manifesta à l'œil. Les numéros dépourvus de cette addition, et tout d'abord les n°s 254 et 255, puis les n°s 256 et 257 ensuite, fleurirent abondamment, il est vrai, mais furent pour la plupart inféconds ; la croissance s'arrêta, les folioles commencèrent à se dessécher, elles tombèrent et la végétation prit fin prématurément. Les numéros qui avaient été arrosés avec l'infusion, eux, se relevèrent et donnèrent dès la fin d'août un grand nombre de jeunes pousses, puis ils continuèrent à croître vigoureusement, quoiqu'ils ne soient parvenus qu'à fleurir et que leurs graines aient été vides. — La haute dose de carbonate de chaux donnée aux n°s 270 et 271 n'a rien changé à ces conditions.

Dans le sol privé d'azote, toutes les plantes qui n'avaient reçu aucun aliment additionnel ou avaient été arrosées avec l'infusion de terre sableuse stérilisée se sont affamées et même celles auxquelles on avait donné une infusion de terre marno-lehmeuse sont mortes lentement. Il est vrai que, pendant trois mois, il poussa encore une quatrième, une cinquième et à quelques-unes une sixième feuille; mais celles-ci tombèrent constamment jaunes et chétives, et les folioles des trois plus anciennes feuilles étant épuisées, il arriva qu'en septembre, n'ayant pour la plupart conservé de leur feuillage que les pétioles, ces plantes en miniature n'avaient plus que l'aspect de misérables balais.

Au contraire, les numéros auxquels on avait donné l'infusion de terre sableuse non stérilisée sortirent vers le 28 juin de la période d'inanition, prirent la teinte verte de la santé, commencèrent à assimiler et crûrent à partir de ce moment si rapidement, que déjà au 1er août elles avaient rejoint et en partie dépassé les plantes qu'on avait alimentées avec 0gr,112 d'azote nitrifié; puis elles fleurirent abondamment et portèrent, quelques-unes au moins, des gousses contenant des graines très bien formées.

Ici encore les hautes doses de carbonate de chaux n'eurent aucune influence.

Parmi les diverses solutions nutritives, on put voir nettement que la serradelle préférait celle dont la réaction était manifestement acide à celle où elle était quelque peu alcaline.

Les résultats des récoltes donnés dans les tableaux suivants résument exactement toutes les observations.

TABLEAU.

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			NOMBRE des pousses par vase.	LONGUEUR DES POUSSES. En général.	LONGUEUR DES POUSSES. 1 ou 2 exceptionnellement hautes.	NOMBRE des pousses contenant des grains.
	Centimètres cubes.				Centimètres.	Centim.	
	Série I. — *Avec infusion de terre sableuse.*						
242	Infusion.	»		»	»	»	»
243	Infusion.	»		»	»	»	»
244	Infusion.	25		13	55 — 65	»	319
245	Infusion.	25		13	56 — 62	69	369
246	Infusion.	25 stérilisée.		»	»	»	»
247	Infusion.	25 stérilisée.		»	»	»	»
	Série II. — *Avec diverses réactions dans la solution alimentaire.*						
	Carbonate de potasse. Grammes.	Infusion de terre sableuse. Cent. cubes.					
248	»	25		13	46 — 77	105	1 389
249	»	25		17	56 — 79	»	1 163
250	0,276	25		12	34 — 41	65	53
251	0,415	25		11	30 — 43	»	»
	Série III. — *Avec infusion lehmeuse.*						
252	»	25		»	»	»	»
253	»	25		»	»	»	»
	Série IV. — *Avec azote nitrifié.*						
	Azote.	Infusion de terre sableuse.					
254	0,056	»		12	22 — 34	»	»
255	0,056	»		12	25 — 30	61	»
256	0,112	»		20	38 — 50	»	79
257	0,112	»		22	16 — 38	57	»
258	0,056	25		21	33 — 40	47	»
259	0,056	25		19	80 — 100	111	»
260	0,112	25		25	47 — 60	»	»
261	0,112	25		19	50 — 58	64	»
	Série V. — *Avec une dose d'azote très faible.*						
262	0,007	»		»	»	»	»
263	0,007	»		»	»	»	»
264	0,007	25 stérilisée.		»	»	»	»
265	0,007	25 stérilisée.		»	»	»	»
	Série VI. — *Avec beaucoup de carbonate de chaux.*						
	Carbonate de chaux. Grammes.	Infusion de terre sableuse.	Azote.				
266	40	»	»	»	»	»	»
267	40	»	»	»	»	»	»
268	40	25	»	12	76 — 85	»	261
269	40	25	»	13	40 — 55	64	183
270	40	»	0,112	23	25 — 37	»	»
271	40	»	0,112	19	47 — 66	86	11

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			RÉCOLTE EN SUBSTANCE SÈCHE. Gousses contenant des grains.	Balles et paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Centimètres cubes.			Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	Série I. — *Avec infusion de terre sableuse.*							
242	Infusion. »			»	0,047	0,047	0,045	0,092
243	Infusion. »			»	0,033	0,033	0,030	0,063
244	Infusion. 25			1,348	12,000	13,348	3,516	16,864
245	Infusion. 25			1,289	13,136	14,425	3,765	18,190
246	Infusion. 25 stérilisée.			»	0,028	0,028	0,056	0,084
247	Infusion. 25 stérilisée.			»	0,050	0,050	0,059	0,109
	Série II. — *Avec des réactions diverses de la solution alimentaire.*							
	Grammes. Carbonate de potasse.	Cent. cubes. Infusion de terre sableuse.						
248	»	25		4,614	6,011	10,625	1,061	11,686
249	»	25		3,986	10,337	14,323	2,088	16,411
250	0,276	25		0,179	9,309	9,488	3,042	12,530
251	0,415	25		»	7,337	7,337	2,072	9,409
	Série III. — *Avec infusion de terre lehmeuse.*							
252	0,056	25		»	0,038	0,038	0,037	0,075
253	0,056	25		»	0,023	0,023	0,032	0,055
	Série IV. — *Avec azote nitrifié.*							
	Azote.	Infusion de terre sableuse.						
254	0,056	»		»	1,925	1,925	0,913	2,838
255	0,056	»		»	2,078	2,078	0,849	2,927
256	0,112	»		0,214	4,653	4,867	1,356	6,223
257	0,112	»		»	5,326	5,326	1,532	6,858
258	0,056	25		»	9,484	9,484	2,452	11,936
259	0,056	25		»	12,586	12,586	2,738	15,324
260	0,112	25		»	8,936	8,936	2,101	11,037
261	0,112	25		»	13,899	13,899	3,178	17,077
	Série V. — *Avec une dose d'azote très faible.*							
262	0,007	»		»	0,125	0,125	0,084	0,209
263	0,007	»		»	0,155	0,155	0,117	0,272
264	0,007	25 stérilisée.		»	0,204	0,204	0,112	0,316
265	0,007	25 stérilisée.		»	0,112	0,112	0,185	0,297
	Série VI. — *Avec beaucoup de carbonate de chaux.*							
	Carbonate de chaux.	Infusion de terre sableuse.	Grammes. Azote.					
266	40	»	»	»	0,063	0,063	0,072	0,135
267	40	»	»	»	0,049	0,049	0,043	0,092
268	40	25	»	1,014	13,245	14,259	3,111	17,370
269	40	25	»	0,481	10,384	10,865	2,626	13,491
270	40	»	0,112	»	4,758	4,758	1,319	6,077
271	40	»	0,112	0,040	5,457	5,497	1,337	6,837

d) **Lupins.**

(V. pl. II.)

Une expérience faite sur les lupins dans des conditions tout à fait semblables à celles dans lesquelles nous nous étions placés pour la serradelle, mais seulement dirigée dans une voie plus large à plusieurs points de vue, manqua presque complètement, parce que la solution nutritive dont nous nous étions servi eut une influence pernicieuse sur la végétation, influence due sans aucun doute à sa réaction franchement acide.

Deux motifs m'empêchent de passer sous silence cette partie de nos expériences. D'abord quelques vases, dans lesquels le développement des lupins fut irréprochable, la réaction acide de la solution nutritive ayant été affaiblie par des doses plus ou moins fortes de carbonate de potasse, pouvaient suffire comme démonstration au but que nous nous proposions. En second lieu, par cette communication sans réticence, on peut reconnaître d'une façon évidente que la seule cause d'insuccès est bien celle que nous avions mentionnée et qui s'est clairement révélée comme une source de trouble ; nulle part, du reste, les accidents constatés n'ont été en contradiction positive avec les résultats donnés par les autres espèces de plantes.

Je me bornerai seulement à réunir dans une courte description les conditions générales et le plan de l'expérience ainsi que les quantités de substance sèche obtenues.

Vases : $0^m,40$ de hauteur ; $0^m,15$ et $0^m,15$ de diamètre.

Sable par vase : 8 kilogr.

Humidité du sol : au début de 10 à 8 p. 100 ; à partir du milieu de juillet, de 12 à 10 p. 100.

Variété : *Lupinus luteus*.

Semence : Poids absolu de 110 à 130 milligr., soit en moyenne $118^{mgr},4$ par grain séché à l'air.

Ensemencement : 3 graines par vase.

Période de végétation : Ensemencement le 11 mai.

Récolte le 8 septembre.

Alimentation pour chaque vase :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,2984
Chlorure de calcium	0,2220
Sulfate de magnésie	0,2400

En outre, tous les numéros des séries I, III, IV, V ont reçu chacun 8 grammes de carbonate de chaux (1 p. 100 du poids du sable), qui ont été mélangés à l'état sec.

Tous les numéros sans exception ont été stérilisés comme pour la serradelle.

Série I, avec infusion de terre sableuse :

Les nos 272, 273 et 274 n'ont reçu aucune addition d'infusion.

Les nos 275, 276 et 277 ont été pourvus chacun de 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse I, correspondant à 10 grammes de terre.

Les nos 278, 279 et 280 ont reçu la même infusion, mais après qu'elle avait été stérilisée.

Série II, avec solution nutritive de réaction différente :

Les nos 281 et 282, sans addition de carbonate de potasse et sans infusion terreuse.

Les nos 283 et 284, sans addition de carbonate de potasse, mais avec 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse I.

Les nos 285 et 286, avec 0gr,415 de carbonate de potasse, sans infusion.

Les nos 287 et 288, avec 0gr,415 de carbonate de potasse et 58 cent. cubes d'infusion de terre sableuse.

Les nos 288 et 290, avec 0gr,553 de carbonate de potasse, sans infusion terreuse.

Les nos 291 et 292, avec 0gr,553 de carbonate de potasse et 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse.

Série III, avec des infusions de terre d'origines diverses [1] :

1. Voir l'expérience suivante sur les pois pour les détails au sujet des différentes terres employées.

Les nos 293 et 294, avec 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse II.

Les nos 295, 296 et 297, avec 50 cent. cubes d'infusion de terre lehmeuse I.

Les nos 298 et 299, avec 50 cent. cubes d'infusion de terre lehmeuse II.

Série IV, avec azote nitrifié, a reçu :

Nos 300 et 301 :	0gr,328	nitrate de chaux	0gr,056	Az.	
Nos 302 et 303 :	0 ,656	— —	0 ,112	—	
Nos 304 et 305 :	1 ,312	— —	0 ,224	—	
Nos 306 et 307 :	0 ,328	— —	0 ,056	—	Plus 50 cent. cubes chacun d'infusion de terre sableuse I.
Nos 308 et 309 :	0 ,656	— —	0 ,112	—	
Nos 310 et 311 :	1 ,312	— —	0 ,224	—	

Série V, avec une très faible dose d'azote :

Nos 312, 313 et 314 : 0gr,041 nitrate de chaux = 0gr,007 Az.

Nos 315, 316 et 317 : 0gr,041 nitrate de chaux = 0gr,007 Az, et de plus 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse I, stérilisée.

Série VI, avec la haute dose de carbonate de chaux :

Les 4 numéros de la série ont reçu d'abord chacun une addition de 80 grammes de carbonate de chaux stérilisé, soit 1 p. 100 du sol et de plus :

Nos 318 et 319 : rien.

Nos 320 et 321 : chacun 50 cent. cubes d'infusion de terre sableuse I.

Comme rendements de la récolte on a trouvé :

TABLEAU.

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.		SUBSTANCE SÈCHE RÉCOLTÉE. Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Centimètres cubes.		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	Série I. — *Avec infusion de terre sableuse.*							
272	Infusion terreuse.	»	»	»	0,665	0,665	0,092	0,757
273	Infusion terreuse.	»	»	»	0,636	0,636	0,085	0,721
274	Infusion terreuse.	»	»	»	0,486	0,486	0,063	0,549
275	Infusion terreuse.	50	»	»	1,230	1,230	0,117	1,347
276	Infusion terreuse.	50	1,616	2,650	14,187	18,453	4,443	22,896
277	Infusion terreuse.	50	5,513	5,350	8,450	19,313	3,798	23,111
278	Infusion terreuse.	50 stérilisée.	»	»	0,583	0,583	0,053	0,636
279	Infusion terreuse.	50 Id.	»	»	0,570	0,570	0,096	0,660
280	Infusion terreuse.	50 Id.	»	»	0,575	0,575	0,085	0,660
	Série II. — *Avec solution nutritive de réaction différente.*							
	Grammes.	Cent. cubes.						
	Carbonate de potassium.	Infusion terreuse.						
281	»	»	»	»	0,477	0,477	0,109	0,586
282	»	»	»	»	0,328	0,328	0,045	0,373
283	»	50	2,260	1,681	3,041	6,982	0,901	7,883
284	»	50	»	»	0,815	0,815	0,074	0,889
285	0,415	»	»	»	0,802	0,802	0,117	0,919
286	0,415	»	»	»	0,720	0,720	0,080	0,800
287	0,415	50	8,157	7,928	20,706	36,791	7,927	44,718
288	0,415	50	4,820	5,710	25,735	36,265	9,346	45,611
289	0,553	»	»	»	0,800	0,800	0,121	0,921
290	0,553	»	»	»	0,882	0,882	0,139	1,021
291	0,553	50	5,384	5,768	23,545	34,697	9,784	44,481
292	0,553	50	13,474	10,724	12,756	36,954	5,497	42,451
	Série III. — *Avec infusion de terre d'origine différente.*							
	A chacun 50 cent. cubes d'infusion de							
293	terre sableuse II.		»	»	0,703	0,703	0,049	0,752
294	Id.		»	»	0,803	0,803	0,049	0,852
295	terre lehmeuse I.		»	»	0,569	0,569	0,067	0,636
296	Id.		»	»	0,648	0,648	0,074	0,722
297	Id.		»	»	0,586	0,586	0,059	0,645
298	terre lehmeuse II.		»	»	0,550	0,550	0,061	0,611
299	Id.		»	»	0,674	0,674	0,091	0,765
	Série IV. — *Avec azote nitrifié.*							
	Azote.	Infusion de terre sableuse.						
300	0,056	»	»	»	0,497	0,497	0,058	0,555
301	0,056	»	»	»	0,538	0,538	0,072	0,610
302	0,112	»	»	»	0,673	0,673	0,072	0,745
303	0,112	»	»	»	0,597	0,597	0,037	0,634
304	0,224	»	»	»	0,582	0,582	0,026	0,608
305	0,224	»	»	»	0,572	0,572	0,072	0,644
306	0,056	50	»	»	0,796	0,796	0,053	0,849
307	0,056	50	7,533	6,334	7,993	21,880	3,354	25,234
308	0,112	50	»	»	1,113	1,113	0,085	1,198
309	0,112	50	0,714	0,933	2,621	4,268	0,817	5,085
310	0,224	50	»	»	0,818	0,818	0,011	0,829
311	0,224	50	»	»	0,761	0,761	0,036	0,797

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.		SUBSTANCE SÈCHE RÉCOLTÉE.					
	Azote.	Infusion de terre sableuse.	Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Grammes.	Cent. cubes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	Série V. — *Avec une dose d'azote très faible.*							
312	0,007	»	»	»	0,566	0,566	0,064	0,630
313	0,007	»	»	»	0,443	0,443	0,056	0,499
314	0,007	»	»	»	0,498	0,498	0,059	0,557
315	0,007	50 stérilisée.	»	»	0,720	0,720	0,074	0,794
316	0,007	50 Id.	»	»	0,528	0,528	0,096	0,624
317	0,007	50 Id.	»	»	0,524	0,524	0,060	0,584
	Série VI. — *Avec haute dose de carbonate de chaux.*							
318	Carbonate de chaux. 80	»	»	»	0,817	0,817	0,210	1,027
319	Carbonate de chaux. 80	»	»	»	0,819	0,819	0,134	0,953
320	Carbonate de chaux. 80	50	2,450	3,150	15,397	20,997	3,628	24,625
321	Carbonate de chaux. 80	50	3,061	3,602	10,601	17,264	2,453	19,717

e) **Pois.**

(V. pl. III.)

Vases : 24 cent. de hauteur, 15 et 13 cent. de diamètre.

Sable : 4 kilogr. par vase.

Humidité du sol : variant pendant la végétation de 17 1/2 à 10 p. 100 (70 à 40 p. 100 de la faculté d'absorption du sable).

Variété : Pois « Gloire de Cassel ».

Semence : Poids absolu de 220 à 240 milligr., soit en moyenne par graine séchée à l'air 228^{mgr},5 (13 p. 100 d'eau).

Ensemencement : 4 graines par vase, dont 2 ont été extraites après la levée des plantes.

Période de végétation : Ensemencement le 11 mai.

Quant à la récolte, certaines plantes ayant donné des pousses latérales tardives, dont on voulut attendre le développement, elle ne fut pas entreprise partout au même moment et se fit dans l'ordre suivant :

Le 12 août, on récolta les n^{os} : 331, 332, 322, 323, 334, 335, 336, 328, 329, 342, 343, 359, 360, 356, 357, 344, 350, 351, 366, 367, 368, 369, 324, 362, 365, 330 et 361.

Pour les autres plantes, afin d'éviter des pertes, on enleva, le 30 août, les portions les plus anciennes, qui étaient complètement mûres et on laissa les jeunes pousses seules jusqu'au 24 septembre, moment où elles furent définitivement récoltées et, mûres ou non, réunies à la masse.

Alimentation par vase :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,5444
Chlorure de potassium	0,2984
Chlorure de calcium	0,2220
Sulfate de magnésie	0,2400

Tous les numéros des séries I, III, IV et V ont reçu de plus chacun 4 grammes de carbonate de chaux (1 p. 100 du poids du sable) mélangé à l'état sec.

Dans tous les numéros sans exception, le sable, la solution nutritive et le carbonate de chaux furent stérilisés de la façon indiquée plus haut, et, pour ceux qui devaient recevoir une infusion terreuse stérilisée, les vases même et les matériaux de drainage furent stérilisés avant tout emploi.

Chaque vase après l'ensemencement fut chargé d'une forte couche de ouate stérilisée et resta ainsi couvert pendant tout le temps de la végétation.

Des 50 vases concourant à l'expérience, on fit les six séries suivantes :

Série I, avec infusion de terre (marno-lehmeuse I).

Pour préparer l'infusion destinée à cette expérience sur les pois, on s'est servi, la série III exceptée, des couches profondes de la terre marno-lehmeuse humique, reposant sur la roche calcaire, qui forme notre champ d'expériences, situé sur la rive gauche de la Saale. Ce champ avait porté précédemment des betteraves à sucre et la terre, extraite en avril 1887, bien retournée, était passablement desséchée. Nous la désignons à l'avenir sous le nom de terre marno-lehmeuse I, ou par abréviation L. I[1].

---

1. Cette terre et celles qui seront indiquées plus loin ont servi aux infusions employées dans l'expérience précédente sur les lupins.

Les numéros de cette série reçurent :

322, 323, 324 : rien.

325, 326, 327 : chacun 25 cent. cubes d'infusion L. I, répondant à 5 grammes de terre.

328, 329, 330 : également chacun 25 cent. cubes d'infusion L. I, mais préalablement stérilisée, comme il a été indiqué plus haut.

Série II, avec solution nutritive de réaction différente :

331, 332 : sans aliment additionnel.

333, 334 : avec addition de 0gr,276 de carbonate de potasse.

335 : avec addition de 0gr,415 de carbonate de potasse.

336 : avec addition de 0gr,553 de carbonate de potasse.

Tous ces numéros avaient reçu, en outre, une dose de 26 cent. cubes de l'infusion de terre L. I.

Série III, avec infusion de terres d'origines diverses :

Pour faire ces différentes infusions on a employé :

1° Une terre marno-lehmeuse humique du diluvium reposant sur le grès, qui venait des lots communaux de la ville de Bernburg. Prélevée le 4 mai 1887, elle fut employée à l'état humide. Nous la désignons marno-lehmeuse II ou L. II.

2° Une terre sableuse diluvienne, venant des abords de la station du chemin de fer de Güterglück. Prélevée le 5 mai 1887, après avoir porté des lupins jaunes, elle fut employée humide. Nous la désignons terre sableuse I ou S. I.

3° Enfin, une terre de sable légère à peu près improductive de la métairie Sieb, appartenant au domaine de Dahme. Cette terre, de mémoire d'homme, n'a pas reçu d'engrais, sinon irrégulièrement quand de temps à autre on y plantait des lupins. Elle fut prélevée en avril 1887 et employée après dessiccation à l'air libre. Nous la désignons par : S. II.

Les numéros de cette série ont reçu :

337, 338 : chacun 25 cent. cubes d'infusion L. II, répondant à 5 grammes de terre.

339, 340, 341 : chacun 25 cent. cubes d'infusion S. I, répondant à 5 grammes de terre.

342, 343 : chacun 25 cent. cubes d'infusion S. II, répondant à 5 grammes de terre.

Série IV, avec de hautes doses de nitrates.

On a donné aux numéros de cette série :

344, 345 : chacun $0^{gr},328$ nitrate de chaux = $0^{gr},056$ Az.
346, 347 : Id. 0 ,656 Id. = 0 ,112
348, 349 : Id. 1 ,312 Id. = 0 ,224
350, 351 : Id. 0 ,328 Id. = 0 ,056
352, 353 : Id. 0 ,656 Id. = 0 ,112
354, 355 : Id. 1 ,312 Id. = 0 ,224

et, de plus, chacun de ces trois derniers, 25 cent. cubes d'infusion de terre L. I.

Série V, avec doses d'azote très faibles :

356, 357, 358 : chacun $0^{gr},041$ nitrate de chaux = $0^{gr},007$ Az.
359, 360, 361 : chacun $0^{gr},041$ nitrate de chaux = $0^{gr},007$ Az.

et, de plus, 25 cent. cubes d'infusion L. I stérilisée.

Série VI, avec fortes doses de carbonate de chaux :

Tous les numéros de cette série ont reçu tout d'abord chacun 40 grammes de carbonate de chaux stérilisé, soit 1 p. 100 du poids du sable et, outre cela :

362, 363 : rien.
364, 365 : chacun 25 cent. cubes d'infusion L. I.
366, 367 : chacun $0^{gr},328$ nitrate de chaux = $0^{gr},056$ Az.
368, 369 : chacun $0^{gr},656$ nitrate de chaux = $0^{gr},112$ Az.
370, 371 : chacun $0^{gr},656$ nitrate de chaux = $0^{gr},112$ Az.

et en outre chacun de ces deux derniers 25 cent. cubes d'infusion de terre L. I.

Résultats.

La levée des pois eut lieu au 16 mai et fut aussi bonne que régulière. Le 26 mai, dans les 50 vases, toutes les plantes étaient en bonne santé, d'une égalité complètement satisfaisante et sans différences visibles.

A partir de ce moment, les plantes de la série IV, qui avaient reçu de l'azote nitrifié, commencèrent à se distinguer par la vigueur de leur végétation ; au 3 juin, elles avaient presque atteint une hauteur double de celle des autres et sans interruption elles conti-

nuèrent à se développer, si bien, qu'au milieu de juin, elles avaient pris le devant sur tous les numéros dépourvus d'azote. Jusqu'au 7 juin, aucune différence ne se montra même à l'intérieur de la série, mais à partir de cette époque les numéros qui avaient reçu de faibles doses d'azote (56 milligr.) restèrent en arrière et bientôt la dose d'infusion terreuse manifesta ses avantages. Le 1er juillet, toutes les plantes de la série fleurirent abondamment.

Les doses minuscules de 7 milligr. d'azote nitrifié par vase manifestèrent leur influence même sur les pois, mais sans que celle-ci fût aussi frappante que dans la culture du sarrasin ; elle le fut moins même que dans les expériences sur la serradelle et se montra à peine aussi nettement que dans les recherches faites sur l'avoine.

Les plantes, dont le milieu de culture était dépourvu d'azote, indiquèrent, en jaunissant, qu'elles entraient dans la période d'inanition le 3 et le 4 juin, sans aucune exception, et les numéros dont la solution nutritive n'avait pas été additionnée d'infusion terreuse, ou dont l'infusion était stérilisée, restèrent dans cet état pendant tout le temps que vécurent leurs plantes. Il ne se présenta qu'une seule exception, qui méritât une mention particulière et ce fut chez le numéro 363, faisant partie de la série VI, à laquelle il avait été donné une forte dose de chaux. Une des plantes de ce numéro laissa tout d'abord apercevoir un reflet vert dans ses jeunes feuilles le 13 juin, puis elle reverdit peu à peu dans la suite, commença à croître et enfin donna des fleurs et des fruits normaux ; la seconde des plantes, elle, resta dans l'état d'inanition jusqu'au milieu de juillet, puis elle se releva quelque peu à son tour, mais sans fournir une production appréciable.

L'action des infusions de terre L. I, L. II et S. II fut remarquable et se montra de bonne heure : celle de la terre S. I au 5 juin, celle de la terre L. II au 7 juin et celle de la terre L. I au 9 du même mois se manifestèrent clairement. Seules les infusions du sable stérile de Dahme ne montrèrent qu'une influence incertaine. Cependant les plantes du n° 343 reverdirent dès le 15 juin et commencèrent à croître très lentement puis continuèrent ainsi de façon à donner une production modérée, tandis que les pois du n° 342 en particulier ne sortirent pas du stade d'inanition.

La dose importante de chaux donnée dans la série VI parut tout d'abord entraver complètement l'action des infusions de terre. Les 4 plantes des nos 364 et 365, au 16 juin, étaient aussi jaunes et aussi dépourvues de végétation que celles qui n'avaient pas reçu d'infusion terreuse. Cet état nous engagea à rendre de nouveau, au 16 juin, à ces deux numéros 25 cent. cubes d'infusion de la terre L. I; aussi, dès les premiers jours de juillet, les deux plantes du n° 364 commencèrent à assimiler activement et en août elles avaient l'aspect brillant de pois bien portants; mais dans le n° 365 une seule plante se releva et demeura toujours un sujet faible.

Au 1er juillet, les pois dont la terre avait été pourvue d'infusion de terre, à part les exceptions dans le développement que nous avons mentionnées, étaient parvenus à une pleine et riche floraison en même temps que ceux qui avaient reçu des nitrates.

Les pois semblèrent rester indifférents à la réaction, quelle qu'elle fût, de la solution nutritive, ou au moins pendant la végétation on ne put apercevoir aucune différence caractéristique dans les trois couples de numéros qui composaient la série II.

La cause de trouble indiquée précédemment, dont l'influence fut si défavorable à la formation du fruit dans l'avoine, se fit sentir aussi d'une façon très nuisible sur les pois; la plupart des fleurs, qui à ce moment étaient bien développées, séchèrent et furent stériles, et dans toutes nos expériences de cette année sur cette légumineuse, la formation des graines est demeurée imparfaite.

Pour cette raison et pour une autre encore, que nous indiquerons plus tard, un certain nombre de plantes donnèrent de jeunes pousses latérales en juillet et même en août, en sorte que la maturité étant irrégulière, on ne put, comme il a été dit, récolter tous les numéros en même temps.

La récolte a fourni les produits suivants :

TABLEAU.

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.	LONGUEUR des tiges principales. Plante *a*.	LONGUEUR des tiges principales. Plante *b*.	NOMBRE des cosses.	NOMBRE des grains.
	Centimètres cubes.	Centim.	Centim.		
	Série I. — *Avec infusion de terre L. I.*				
322	Infusion de terre. »	25	22	»	»
323	Infusion de terre. »	22	15	»	»
324	Infusion de terre. »	31	32	1	»
325	Infusion de terre. 25	122	142	7	12
326	Infusion de terre. 25	125	120	6	19
327	Infusion de terre. 25	110	117	10	39
328	Infusion de terre. 25 stérilisée.	29	29	»	»
329	Infusion de terre. 25 id.	37	29	1	»
330	Infusion de terre. 25 id.	18	30	»	»
	Série II. — *Avec solution de réactions différentes.*				
	Carbonate de potasse (Grammes.) — Infusion de terre L. I. (Cent. cubes.)				
331	» — 25	97	109	5	36
332	» — 25	110	115	5	40
333	0,276 — 25	125	125	13	35
334	0,276 — 25	109	125	6	37
335	0,415 — 25	102	121	7	40
336	0,553 — 25	130	120	7	42
	Série III. — *Avec infusions de terres d'origine diverse.*				
	Infusion (Cent. cubes.) — Terre.				
337	25 — L. II.	115	125	2	»
338	25 — L. II.	120	130	8	39
339	25 — S. I.	115	107	2	4
340	25 — S. I.	120	105	1	1
341	25 — S. I.	115	110	2	4
342	25 — S. II.	20	27	»	»
343	25 — S. II.	67	85	5	19
	Série IV. — *Avec hautes doses d'azote nitrifié.*				
	Azote (Grammes.) — Infusion de terre L. I. (Cent. cubes.)				
344	0,056 — »	80	81	4	8
345	0,056 — »	125	107	2	3
346	0,112 — »	116	121	1	2
347	0,112 — »	135	125	»	»
348	0,224 — »	97	99	3	7
349	0,224 — »	107	95	2	6
350	0,056 — 25	75	61	3	5
351	0,056 — 25	73	75	4	6
352	0,112 — 25	124	134	»	»
353	0,112 — 25	130	140	2	1
354	0,224 — 25	120	110	»	»
355	0,224 — 25	100	120	2	4

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			LONGUEUR des tiges principales. Plante *a*.	Plante *b*.	NOMBRE des cosses.	des grains.
	Grammes.	Cent. cubes.	Grammes.	Centim.	Centim.		
	Série V. — *Avec dose très faible d'azote.*						
356	Azote. 0,007	Infusion de terre L. I. »		34	38	»	»
357	0,007	»		68	32	»	»
358	0,007	»		47	36	»	»
359	0,007	25 stérilisée.		24	37	1	»
360	0,007	25 id.		32	16	»	»
361	0,007	25 id.		35	40	»	»
	Série VI. — *Avec hautes doses de carbonate de chaux.*						
362	Carbonate de chaux. 40	Infusion de terre L. I. »	Azote. »	31	25	»	»
363	40	»	»	59	81	10	23
364	40	25	»	98	64	12	46
365	40	25	»	32	68	2	7
366	40	»	0,056	68	80	2	7
367	40	»	0,056	81	77	3	6
368	40	»	0,112	95	95	5	13
369	40	»	0,112	98	80	4	13
370	40	25	0,112	137	130	7	5
371	40	25	0,112	150	125	»	»

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.		SUBSTANCE SÈCHE DE LA RÉCOLTE. Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Centimètres cubes.		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
	Série I. — *Avec infusion de terre L. I.*							
322	Infusion de terre L. I.	»	»	»	0,543	0,543	0,236	0,779
323		»	»	»	0,440	0,440	0,304	0,744
324		»	»	0,024	0,696	0,720	0,208	0,928
325		25	1,460	1,334	11,992	14,786	1,831	16,617
326		25	0,957	2,477	8,268	11,702	0,911	12,613
327		25	0,746	2,457	9,313	18,516	1,580	20,096
328		25 stérilisée.	»	»	0,579	0,579	0,319	0,898
329		25 id.	0,016	0,027	0,517	0,560	0,282	0,842
330		25 id.	»	»	0,590	0,590	0,332	0,922

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.		SUBSTANCE SÈCHE DE LA RÉCOLTE.					
			Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Grammes.	Centimètres cubes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
		SÉRIE II. — *Avec solution nutritive de réactions différentes.*						
	Carbonate de chaux.	Infusion de terre L. I.						
331	»	25	5,551	1,710	5,267	11,528	1,220	13,748
332	»	25	4,967	2,025	4,913	11,905	0,658	12,563
333	0,276	25	3,940	2,384	9,116	15,440	1,689	17,129
334	0,276	25	5,248	2,474	4,234	11,956	0,585	12,541
335	0,415	25	7,049	1,722	3,862	12,633	0,870	13,503
336	0,553	25	7,844	2,112	4,725	14,681	1,093	15,774
		SÉRIE III. — *Avec infusion de terres d'origines différentes.*						
	Cent. cubes.							
	Infusion.	Terre.						
337	25	L. II.	»	0,452	17,143	17,595	2,116	19,711
338	25	L. II.	3,111	2,917	18,365	24,393	2,965	27,358
339	25	S. I.	0,420	0,145	15,712	16,277	1,339	17,616
340	25	S. I.	0,018	0,061	17,893	17,972	2,454	20,426
341	25	S. I.	0,525	0,282	14,136	14,943	1,019	15,962
342	25	S. II.	»	»	0,654	0,654	0,265	0,919
343	25	S. II.	3,604	0,820	1,538	5,962	0,609	6,571
		SÉRIE IV. — *Avec hautes doses d'azote nitrifié.*						
	Grammes.							
	Azote.	Infusion de terre L. I.						
344	0,056	»	0,627	0,391	2,085	3,103	0,842	3,945
345	0,056	»	0,228	0,190	8,862	9,280	1,310	10,590
346	0,112	»	0,146	0,085	9,124	9,355	1,721	11,076
347	0,112	»	»	»	12,792	12,792	1,881	14,673
348	0,224	»	0,792	0,308	8,842	9,942	1,336	11,278
349	0,224	»	0,463	0,295	8,647	9,405	1,528	10,933
350	0,056	25	1,466	0,257	1,585	3,308	1,107	4,415
351	0,056	25	0,468	0,319	1,774	2,561	0,993	3,554
352	0,112	25	»	»	12,700	12,700	0,899	13,599
353	0,112	25	0,213	0,131	16,252	16,596	0,489	17,085
354	0,224	25	»	»	16,209	16,209	2,153	18,362
355	0,224	25	0,594	0,261	15,956	16,811	2,020	18,831
		SÉRIE V. — *Avec doses d'azote très faibles.*						
	Azote.	Infusion de terre L. I.						
356	0,007	»	»	»	0,954	0,954	0,385	1,339
357	0,007	»	»	»	0,940	0,940	0,368	1,308
358	0,007	»	»	»	0,974	0,974	0,291	1,265
359	0,007	25 stérilisée.	»	0,027	0,687	0,714	0,330	1,044
360	0,007	25 id.	»	»	0,728	0,728	0,343	1,071
361	0,007	25 id.	»	»	0,907	0,907	0,248	1,155

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			SUBSTANCE SÈCHE DE LA RÉCOLTE.					
	Carbonate de chaux.	Infusion de terre L. I.	Azote.	Grains.	Balles.	Paille.	Total des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
	Grammes.	Cent.cub.	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
			Série VI. — *Avec hautes doses de carbonate de chaux.*						
362	40	»	»	»	»	0,671	0,671	0,190	0,861
363	40	»	»	2,291	1,008	3,173	7,102	?	?
364	40	25	»	7,316	1,807	4,465	13,588	0,710	14,298
365	40	25	»	0,899	0,270	1,303	2,472	0,353	2,825
366	40	»	0,056	0,619	0,305	2,322	3,246	1,109	4,355
367	40	»	0,056	0,487	0,299	2,381	3,167	1,069	4,236
368	40	»	0,112	1,171	0,597	3,674	5,442	1,479	6,921
369	40	»	0,112	1,344	0,637	3,872	5,853	1,756	7,609
370	40	25	0,112	0,865	0,583	15,028	16,476	1,494	17,970
371	40	25	0,112	»	»	18,199	18,199	2,287	20,486

IX

Nous allons donner maintenant les résultats des déterminations de l'azote que nous avons faites sur la substance sèche récoltée, n'ayant à faire observer qu'une seule chose, c'est que nous avons employé dans nos analyses la méthode de Kjeldahl-Wilfarth. Pour le surplus, nous renvoyons le lecteur à ce qui a été dit pages 130 et 131.

Il a été trouvé :

Azote.

Orge.

a) Dans les grains employés à l'ensemencement :

1886. . . . . 1.76 p. 100

b) Dans les produits récoltés :

1886

VASES.	AZOTE donné en nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES et paille.	TOTALITÉ des organes aériens.
—	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
119	0,224	1.17	0.53	0.78
121	0,112	1.02	0.48	0.67
122	0,000	»	0.72	0.72
123	0,000	2.49	0.63	0.73

Avoine.

a) Dans les grains employés à l'ensemencement :

1886.	1.82 p. 100
1887.	1.67 —

b) Dans les produits récoltés :

1886

VASES.	AZOTE donné en nitrate de chaux.	GRAINS.	BALLES et paille.	TOTALITÉ des organes aériens.
—	—	—	—	—
	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
124	0,224	1.32	0.44	0.81
126	0,112	1.20	0.34	0.69
128	0,000	0.65		0.65
129	0,000	»	0.57	0.57

1887

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE. Azote.	Infusion de terre.	Carbonate de chaux.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
	Grammes.	Cent. cub.	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
			Série I. — *Sans azote.*					
214	»	»	4	1.18	1.42	0.71	0.64	0.82
215	»	»	4	0.85	0.82	0.60	0.66	0.64
216	»	25	4	1.80	1.05	0.54	0.63	0.67
217	»	25	4	1.58	0.79	0.41	0.43	0.56
218	»	»	40	1.39	0.69	0.44	0.37	0.72
219	»	»	40	1.74	0.91	0.54	0.54	0.61
			Série II. — *Avec azote.*					
220	0,056	»	4	1.57	0.38		0.60	0.70
221	0,056	»	4	1.49	0.33		0.41	0.59
222	0,112	»	4	1.32	0.81	0.19	0.55	0.61
223	0,112	»	4	1.38	?	0.25	0.58	
			Série III. — *Avec azote et infusion de terre.*					
224	0,056	25	4	1.57	0.33		0.51	0.62
225	0,056	25	4	1.46	0.31		0.53	0.59
226	0,112	25	4	1.71	0.81	0.23	0.49	0.63
227	0,112	25	4	1.50	0.84	0.25	0.63	0.62

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
	Azote.	Infusion de terre.	Carbonate de chaux.					
	Grammes.	Cent. cub.	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
				Série IV. — *Avec azote et chaux.*				
228	0,056	»	40	1.51	0.32		0.50	0.63
229	0,056	»	40	1.49	0.36		0.47	0.61
230	0,112	»	40	1.47	1.20	0.27	0.46	0.64
231	0,112	»	40	1.36	0.84	0.20	0.48	0.62
				Série V. — *Avec une trace d'azote.*				
232	0,007	»	4	1.81	0.86	0.43	0.61	0.93
233	0,007	»	4	1.60	0.78	0.39	0.58	0.70

Sarrasin.

a) Dans les grains de semence :

1887. . . . . 1.84 p. 100

b) Dans les produits récoltés :

1887

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			GRAINS.	BALLES et paille.	TOTALITÉ des organes aériens.
	Azote.	Infusion de terre.	Carbonate de chaux.			
	Grammes.	Cent. cubes.	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
234	»	»	4	»	3.05	3.05
235	»	»	4	4.44	2.61	2.83
236	»	25	4	»	4.87	4.87
237	»	25	4	»	2.80	2.80
238	»	»	40	»	2.54	2.54
239	»	»	40	5.33	1.97	2.15
240	0,007	»	4	1.48	1.03	1.18
241	0,007	»	4	2.46	1.35	1.46

Serradelle.

a) Dans les grains de semence :

1887. . . . . 3.98 p. 100

b) Dans les produits récoltés :

1887

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.	GRAINS.	BALLES et paille.	RACINES.	PLANTE entière.
	Centimètres cubes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
	Série I. — *Avec infusion de terre.*				
242	Infusion de terre. »	»	1.34		1.34
243	Infusion de terre. »	»	1.85		1.85
244	Infusion de terre. 25	3.36	1.75	2.65	2.07
245	Infusion de terre. 25	3.61	1.88	2.73	2.18
246	Infusion de terre. 25 stérilisée.	»	1.18		1.18
247	Infusion de terre. 25 id.	»	1.25		1.25
	Série II. — *Avec solution nutritive de réaction différente.*				
	Grammes. — Cent. cubes.				
248	Carbonate de potasse. » — Infusion de terre sableuse. 25	4.69	1.79	2.77	3.02
249	Carbonate de potasse. » — Infusion de terre sableuse. 25	4.41	2.04	2.75	2.71
250	Carbonate de potasse. 0,276 — Infusion de terre sableuse. 25	3.78	1.77	2.58	2.00
251	Carbonate de potasse. 0,415 — Infusion de terre sableuse. 25	»	2.05	2.54	2.16
	Série III. — *Avec infusion de terre lehmeuse.*				
	Cent. cubes.				
252	Infusion. 25	»	1.38		1.38
253	Infusion. 25	»	1.36		1.36
	Série IV. — *Avec azote nitrifié.*				
	Grammes. — Cent. cubes.				
254	Azote. 0,056 — Infusion de terre sableuse. »	»	0.86	1.37	1.03
255	Azote. 0,056 — Infusion de terre sableuse. »	»	0.88	1.32	1.01
256	Azote. 0,112 — Infusion de terre sableuse. »	1.94	0.97	1.56	1.13
257	Azote. 0,112 — Infusion de terre sableuse. »	»	0.92	1.43	1.03
258	Azote. 0,056 — Infusion de terre sableuse. 25	»	1.30	2.48	1.54
259	Azote. 0,056 — Infusion de terre sableuse. 25	»	1.39	2.68	1.62
260	Azote. 0,112 — Infusion de terre sableuse. 25	»	1.38	2.53	1.59
261	Azote. 0,112 — Infusion de terre sableuse. 25	»	1.67	2.71	1.86
	Série V. — *Avec très peu d'azote.*				
262	Azote. 0,007 — Infusion de terre sableuse. »	»	1.06		1.06
263	Azote. 0,007 — Infusion de terre sableuse. »	»	0.98		0.98
264	Azote. 0,007 — Infusion de terre sableuse. 25 stérilisée.	»	0.78		0.78
265	Azote. 0,007 — Infusion de terre sableuse. 25 id.	»	1.16		1.16
	Série VI. — *Avec beaucoup de carbonate de chaux.*				
	Grammes. — Cent. cubes. — Grammes.				
266	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. » — Azote. »	»	1.06		1.06
267	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. » — Azote. »	»	1.34		1.34
268	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. 25 — Azote. »	2.73	2.02	2.93	2.23
269	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. 25 — Azote. »	3.77	1.91	2.71	2.13
270	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. » — Azote. 0,112	»	1.02	1.69	1.17
271	Carbonate de chaux. 40 — Infusion de terre sableuse. » — Azote. 0,112	2.84	0.83	1.56	1.05

Lupins.

a) Dans les grains de semence :

1887. 6.85 p. 100

b) Dans les produits récoltés :

1887

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.				GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
		Grammes.	Cent. cub.	Grammes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
276		»	50		7.24	1.02	2.12	1.55	2.24
277		»	50		7.51	0.50	1.77	1.83	2.86
281		»	»		»	»	2.09		2.09
282		»	»		»	»	3.15		3.15
283		»	50		5.88	0.48	2.08	2.47	2.87
284		»	50		»	»	2.90		2.90
285	Carbonate de potasse.	0,415	»		»	»	1.59		1.59
286		0,415	»		»	»	1.70		1.70
287		0,415	Infusion de terre. 50		8.18	1.09		2.04	2.55
288		0,415	50		8.07	1.65		2.62	2.53
289		0,553	»		»	»	1.44		1.44
290		0,553	»		»	»	1.31		1.31
291		0,553	50		7.94	1.66		2.77	2.66
292		0,553	50		7.38	0.86		2.02	3.08
307	Azote.	0,056	50	Carbonate de chaux. 8	7.71	0.37	1.42	1.94	3.10
320		»	50	80	7.38	1.35	1.94	1.67	2.37
321		»	50	80	7.54	0.84	2.06	1.58	2.63

Pois.

a) Dans les grains de semence :

1886 . . . . 4.00 p. 100

1887 . . . . 3.96 —

b) Dans les produits récoltés :

1886

VASES.	INFUSION de terre.	GRAINS.	BALLES et paille.	TOTALITÉ des organes aériens.
—	Cent. cubes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
130	»	4.39	1.52	2.78
131	»	4.91	1.84	2.92
135	»	2.34		2.34
143	»	2.15		2.15
144	»	2.32		2.32

VASES.	INFUSION de terre.	GRAINS.	BALLES et paille.	TOTALITÉ des organes aériens.
—	—	—	—	—
	Cent. cubes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
147	»	4.06	1.63	2.99
155	»	4.38	1.41	2.83
156	»	2.58		2.58
158	»	4.78	1.19	2.88
159	»	2.05		2.05
160	25	5.00	1.35	2.69
161	25	4.47	0.88	2.63
165	25	4.22	1.34	2.63
169	25	4.61	1.69	2.89
			PLANTE ENTIÈRE.	
			—	
170	25 stérilisée.		1.50	
171	25 id.		1.47	

1887

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
	Centimètres cubes.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
	SÉRIE I. — *Avec infusion de terre L. I.*					
322	Infusion de terre. »	»	»	1.35	2.25	1.63
323	»	»	»	1.44	2.05	1.68
324	»	»	»	1.52		1.52
325	25	5.44	1.54		2.42	1.98
326	25	5.68	2.15		2.39	2.44
327	25	5.24	1.99		3.08	3.17
328	25 stérilisée.	»	»	1.33	2.16	1.63
329	25 id.	5.31	2.91	1.33	1.89	1.65
330	25 id.	»	»	1.58		1.58
	SÉRIE II. — *Avec solution nutritive de réaction différente.*					
	Carbonate de potasse. Grammes. — / Infusion de terre L. I. Cent. cubes. —					
331	» / 25	5.11	1.99		2.96	3.34
332	» / 25	4.15	1.51		2.99	2.63
333	0,276 / 25	5.41	1.90		3.20	2.84
334	0,276 / 25	3.88	0.99		3.62	2.32
335	0,415 / 25	3.29	0.77		2.17	2.18
336	0,553 / 25	3.43	0.90		2.52	2.27

VASES.	ALIMENTATION DONNÉE.			GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
	Cent. cubes.			P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
	Série III. — *Avec infusion de terres d'origine diverse.*							
	Infusion.	Terre.						
337	25	L. II.		»	2.51		2.70	2.53
338	25	L. II.		6.00	2.18		2.87	2.69
339	25	S. I.		4.16	2.72		2.85	2.76
340	25	S. I.		6.22	2.37		2.54	2.39
341	25	S. I.		5.35	2.72		2.96	2.82
342	25	S. II.		»	»	1.34	1.86	1.49
343	25	S. II.		3.96	0.93		1.89	2.68
	Série IV. — *Avec haute dose d'azote nitrifiée.*							
	Azote. Grammes.	Infusion de terre L. I. Cent. cubes.						
344	0,056	»		2.36	0.78		1.95	1.28
345	0,056	»		5.26	1.54		2.67	1.76
346	0,112	»		3.98	0.65		2.70	1.01
347	0,112	»		»	»	1.64	2.92	1.80
348	0,224	»		3.75	1.16		2.57	1.51
349	0,224	»		4.48	0.98		2.55	1.35
350	0,056	25		5.40	0.74		1.56	2.49
351	0,056	25		2.53	0.78		1.91	1.33
352	0,112	25		»	»	2.14	2.44	2.16
353	0,112	25		5.37	1.20		2.42	1.29
354	0,224	25		»	»	2.12	2.57	2.17
355	0,224	25		4.97	2.19		2.52	2.31
	Série V. — *Avec dose d'azote très faible.*							
	Azote.	Infusion de terre L. I.						
356	0,007	»		»	»	1.10	2.29	1.44
357	0,007	»		»	»	1.21	1.87	1.40
358	0,007	»		»	2.15	1.55		1.55
359	0,007	25 stérilisée.		»	»	1.38	2.40	1.72
360	0,007	25 id.		»	»	1.26	1.85	1.46
361	0,007	25 id.		»	»	1.42		1.42
	Série VI. — *Avec forte dose de carbonate de chaux.*							
	Carbonate de chaux. Grammes.	Infusion de terre L. I. Cent. cubes.	Azote. Grammes.					
362	40	»	»	»	»	1.49		1.49
363	40	»	»	3.22	1.05		?	?
364	40	25	»	4.16	1.06		2.58	2.02
365	40	25	»	2.73	1.05		2.05	1.71
366	40	»	0,056	2.18	0.65		1.78	1.20
367	40	»	0,056	2.25	0.66		1.50	1.06
368	40	»	0,112	2.41	0.67		2.05	1.26
369	40	»	0,112	2.43	0.73		1.76	1.27
370	40	25	0,112	5.17	1.38		2.31	1.64
371	40	25	0,112	»	»	1.98	2.95	2.09

Si, d'après ces données, on calcule le poids absolu de l'azote contenu dans les grains récoltés, et qu'on établisse la balance d'un côté entre l'azote, fourni par le sol[1], la semence, et donné sous forme de nitrate, et d'autre part celui qui a été retrouvé dans les récoltes, on obtient les résultats suivants :

VASES.	AZOTE fourni en		AZOTE retrouvé dans		AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie			
					en nitrates et semence		en nitrates, semences et sol.	
	nitrates et semence.	nitrates, semence et sol.	la substance sèche de la partie aérienne.	la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.
	Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
				ORGE				
				1886				
119	0,229	0,254	0,167	»	— 0,062	»	— 0,087	»
121	0,117	0,142	0,086	»	— 0,031	»	— 0,056	»
122	0,005	0,030	0,003	»	— 0,002	»	— 0,027	»
123	0,005	0,030	0,004	»	— 0,001	»	— 0,026	»
				AVOINE				
				1886				
124	0,229	0,254	0,168	»	— 0,061	»	— 0,086	»
126	0,117	0,142	0,080	»	— 0,037	»	— 0,062	»
128	0,005	0,030	0,003	»	— 0,002	»	— 0,027	»
129	0,005	0,030	0,003	»	— 0,002	»	— 0,027	»
				1887				
214	0,005	0,027	0,005	0,007	± 0,000	+ 0,002	— 0,022	— 0,020
215	0,005	0,027	0,004	0,006	— 0,001	+ 0,001	— 0,023	— 0,021
216	0,005	0,027	0,005	0,007	± 0,000	+ 0,002	— 0,022	— 0,020
217	0,005	0,027	0,005	0,009	± 0,000	+ 0,004	— 0,022	— 0,018
218	0,005	0,027	0,005	0,009	± 0,000	+ 0,004	— 0,022	— 0,018
219	0,005	0,027	0,005	0,009	± 0,000	+ 0,004	— 0,022	— 0,018
220	0,061	0,083	0,034	0,042	— 0,027	+ 0,019	— 0,049	— 0,041
221	0,061	0,083	0,037	0,044	— 0,024	— 0,017	— 0,046	— 0,039
222	0,117	0,139	0,075	0,090	— 0,042	— 0,027	— 0,064	— 0,049
224	0,061	0,083	0,031	0,038	— 0,030	— 0,023	— 0,052	— 0,045
225	0,061	0,083	0,030	0,037	— 0,031	— 0,024	— 0,053	— 0,046
226	0,117	0,139	0,076	0,088	— 0,041	— 0,029	— 0,063	— 0,051
227	0,117	0,139	0,074	0,096	— 0,043	— 0,021	— 0,065	— 0,043

1. Comme teneur du sol en azote nous avons pris ici pour base, comme précédemment nous l'avons déjà fait, la plus haute quantité d'azote trouvée dans une analyse, soit $5^{mgr},4$ Az par kilogr. de sable.

VASES.	AZOTE fourni en — nitrates et semence.	AZOTE fourni en — nitrates, semence et sol.	AZOTE retrouvé dans — la substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE retrouvé dans — la plante entière.	AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie — en nitrates et semence — dans la substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie — en nitrates et semence — dans la plante entière.	AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie — en nitrates, semence et sol — dans la substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie — en nitrates, semence et sol — dans la plante entière.
	Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
				AVOINE (*suite*).				
				1887				
228	0,061	0,083	0,038	0,047	— 0,023	— 0,014	— 0,045	— 0,036
229	0,061	0,083	0,035	0,044	— 0,026	— 0,017	— 0,048	— 0,039
230	0,117	0,139	0,078	0,101	— 0,039	— 0,016	— 0,061	— 0,038
231	0,117	0,139	0,085	0,104	— 0,032	— 0,013	— 0,054	— 0,035
232	0,012	0,034	0,008	0,011	— 0,004	— 0,001	— 0,026	— 0,023
233	0,012	0,034	0,008	0,011	— 0,004	— 0,001	— 0,026	— 0,023
				SARRASIN				
				1887				
234	0,001	0,023	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022	»
235	0,001	0,023	0,002	»	+ 0,001	»	— 0,021	»
236	0,001	0,023	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022	»
237	0,001	0,023	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022	»
238	0,001	0,023	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022	»
239	0,001	0,023	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022	»
240	0,008	0,030	0,003	»	— 0,005	»	— 0,027	»
241	0,008	0,030	0,002	»	— 0,006	»	— 0,028	»
				SERRADELLE				
				1887				
242	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
243	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
244	0,001	0,023	0,255	0,349	+ 0,254	+ 0,348	+ 0,232	+ 0,326
245	0,001	0,023	0,294	0,396	+ 0,293	+ 0,395	+ 0,271	+ 0,373
246	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
247	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
248	0,001	0,023	0,324	0,353	+ 0,323	+ 0,352	+ 0,301	+ 0,330
249	0,001	0,023	0,387	0,444	+ 0,386	+ 0,443	+ 0,364	+ 0,421
250	0,001	0,023	0,172	0,250	+ 0,171	+ 0,249	+ 0,149	+ 0,227
251	0,001	0,023	0,150	0,203	+ 0,149	+ 0,202	+ 0,127	+ 0,180
252	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
253	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
254	0,057	0,079	0,017	0,029	— 0,040	— 0,028	— 0,062	— 0,050
255	0,057	0,079	0,018	0,030	— 0,039	— 0,027	— 0,061	— 0,049
256	0,113	0,135	0,049	0,071	— 0,064	— 0,042	— 0,086	— 0,064
257	0,113	0,135	0,049	0,071	— 0,064	— 0,042	— 0,086	— 0,064
258	0,057	0,079	0,123	0,184	+ 0,066	+ 0,127	+ 0,044	+ 0,105
259	0,057	0,079	0,175	0,248	+ 0,118	+ 0,191	+ 0,096	+ 0,169
260	0,113	0,135	0,123	0,177	+ 0,010	+ 0,064	— 0,012	+ 0,042

VASES.	AZOTE fourni en		AZOTE retrouvé dans		AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie			
					en nitrates et semence		en nitrates, semences et sol	
	nitrates et semence.	nitrates, semence et sol.	la substance sèche de la partie aérienne.	la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.
	Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
				SERRADELLE (*suite*).				
				1887				
261	0,113	0,135	0,232	0,318	+ 0,119	+ 0,205	+ 0,097	+ 0,138
262	0,008	0,030	»	0,002	»	— 0,006	»	— 0,028
263	0,008	0,030	»	0,003	»	— 0,005	»	— 0,027
264	0,008	0,030	»	0,003	»	— 0,005	»	— 0,027
265	0,008	0,030	»	0,004	»	— 0,004	»	— 0,026
266	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
267	0,001	0,023	»	0,001	»	± 0,000	»	— 0,022
268	0,001	0,023	0,295	0,387	+ 0,294	+ 0,386	+ 0,272	+ 0,364
269	0,001	0,023	0,216	0,288	+ 0,215	+ 0,287	+ 0,193	+ 0,265
270	0,113	0,135	0,049	0,071	— 0,064	— 0,042	— 0,086	— 0,064
271	0,113	0,135	0,046	0,067	— 0,067	— 0,046	— 0,089	— 0,068
				POIS				
				1886				
130	0,016	0,038	0,567	»	+ 0,551	»	+ 0,529	»
131	0,016	0,038	0,439	»	+ 0,423	»	+ 0,401	»
135	0,016	0,038	0,085	»	+ 0,069	»	+ 0,047	»
143	0,016	0,038	0,071	»	+ 0,055	»	+ 0,033	»
144	0,016	0,038	0,038	»	+ 0,022	»	± 0,000	»
147	0,016	0,038	0,507	»	+ 0,491	»	+ 0,469	»
155	0,016	0,038	0,451	»	+ 0,435	»	+ 0,413	»
156	0,016	0,038	0,114	»	+ 0,098	»	+ 0,076	»
158	0,016	0,038	0,494	»	+ 0,478	»	+ 0,456	»
159	0,016	0,038	0,038	»	+ 0,022	»	± 0,000	»
160	0,016	0,038	0,425	»	+ 0,409	»	+ 0,387	»
161	0,016	0,038	0,493	»	+ 0,477	»	+ 0,455	»
165	0,016	0,038	0,520	»	+ 0,504	»	+ 0,482	»
169	0,016	0,038	0,469	»	+ 0,453	»	+ 0,431	»
170	0,016	0,038	»	0,008	»	— 0,008	»	— 0,030
171	0,016	0,038	»	0,008	»	— 0,008	»	— 0,030
				1887				
322	0,016	0,038	0,007	0,013	— 0,009	— 0,003	— 0,031	— 0,025
323	0,016	0,038	0,006	0,013	— 0,010	— 0,003	— 0,032	— 0,025
324	0,016	0,038	»	0,014	»	— 0,002	»	— 0,024
325	0,016	0,038	0,285	0,329	+ 0,269	+ 0,313	+ 0,247	+ 0,291
326	0,016	0,038	0,285	0,307	+ 0,269	+ 0,291	+ 0,247	+ 0,269
327	0,016	0,038	0,588	0,636	+ 0,572	+ 0,620	+ 0,550	+ 0,598
328	0,016	0,038	0,008	0,015	— 0,008	— 0,001	— 0,030	— 0,023
329	0,016	0,038	0,009	0,014	— 0,007	— 0,002	— 0,029	— 0,024

VASES.	AZOTE fourni en		AZOTE retrouvé dans		AZOTE RETROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie			
					en nitrates et semence		en nitrates, semence et sol	
	nitrates et semence.	nitrates, semence et sol.	la substance sèche de la partie aérienne.	la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.
	Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
				POIS (*Suite*). 1887				
330	0,016	0,038	»	0,015	»	— 0,001	»	— 0,023
331	0,016	0,038	0,422	0,459	+ 0,406	+ 0,443	+ 0,384	+ 0,421
332	0,016	0,038	0,311	0,331	+ 0,295	+ 0,315	+ 0,273	+ 0,293
333	0,016	0,038	0,432	0,489	+ 0,416	+ 0,473	+ 0,394	+ 0,451
334	0,016	0,038	0,270	0,291	+ 0,254	+ 0,275	+ 0,232	+ 0,253
335	0,016	0,038	0,275	0,294	+ 0,259	+ 0,278	+ 0,237	+ 0,256
336	0,016	0,038	0,331	0,358	+ 0,315	+ 0,342	+ 0,293	+ 0,320
337	0,016	0,038	0,442	0,499	+ 0,426	+ 0,483	+ 0,404	+ 0,461
338	0,016	0,038	0,651	0,736	+ 0,635	+ 0,720	+ 0,613	+ 0,698
339	0,016	0,038	0,449	0,487	+ 0,433	+ 0,471	+ 0,411	+ 0,419
340	0,016	0,038	0,427	0,489	+ 0,411	+ 0,473	+ 0,389	+ 0,451
341	0,016	0,038	0,420	0,451	+ 0,404	+ 0,435	+ 0,382	+ 0,413
342	0,016	0,038	0,009	0,014	— 0,007	— 0,002	— 0,029	— 0,024
343	0,016	0,038	0,165	0,176	+ 0,149	+ 0,160	+ 0,127	+ 0,138
344	0,072	0,094	0,034	0,051	— 0,038	— 0,021	— 0,060	— 0,043
345	0,072	0,094	0,151	0,186	+ 0,079	+ 0,114	+ 0,057	+ 0,092
346	0,128	0,150	0,066	0,112	— 0,062	— 0,016	— 0,084	— 0,038
347	0,128	0,150	0,210	0,265	+ 0,082	+ 0,137	+ 0,060	+ 0,115
348	0,240	0,262	0,136	0,170	— 0,104	— 0,070	— 0,126	— 0,092
349	0,240	0,262	0,108	0,147	— 0,132	— 0,093	— 0,154	— 0,115
350	0,072	0,094	0,093	0,110	+ 0,021	+ 0,038	— 0,001	+ 0,016
351	0,072	0,094	0,028	0,047	— 0,044	— 0,025	— 0,066	— 0,047
352	0,128	0,150	0,272	0,294	+ 0,144	+ 0,166	+ 0,122	+ 0,144
353	0,128	0,150	0,208	0,220	+ 0,080	+ 0,092	+ 0,058	+ 0,070
354	0,240	0,262	0,344	0,399	+ 0,104	+ 0,159	+ 0,082	+ 0,137
355	0,240	0,262	0,385	0,436	+ 0,145	+ 0,196	+ 0,123	+ 0,174
356	0,023	0,045	0,007	0,013	— 0,016	— 0,010	— 0,038	— 0,032
357	0,023	0,045	0,006	0,013	— 0,017	— 0,010	— 0,039	— 0,032
358	0,023	0,045	»	0,014	»	— 0,009	»	— 0,031
359	0,023	0,045	0,010	0,018	— 0,013	— 0,005	— 0,035	— 0,027
360	0,023	0,045	0,009	0,016	— 0,014	— 0,007	— 0,036	— 0,029
361	0,023	0,045	»	0,016	»	— 0,007	»	— 0,029
362	0,016	0,038	»	0,013	»	— 0,003	»	— 0,025
363	0,016	0,038	0,138	»	+ 0,122	»	+ 0,100	»
364	0,016	0,038	0,370	0,388	+ 0,354	+ 0,372	+ 0,332	+ 0,350
365	0,016	0,038	0,041	0,048	+ 0,025	+ 0,032	+ 0,003	+ 0,010
366	0,072	0,094	0,033	0,052	— 0,039	— 0,020	— 0,061	— 0,042
367	0,072	0,094	0,029	0,045	— 0,043	— 0,027	— 0,065	— 0,049
368	0,128	0,150	0,057	0,088	— 0,071	— 0,040	— 0,093	— 0,062
369	0,128	0,150	0,066	0,097	— 0,062	— 0,031	— 0,084	— 0,053
370	0,128	0,150	0,260	0,295	+ 0,132	+ 0,167	+ 0,110	+ 0,145
371	0,128	0,150	0,360	0,428	+ 0,232	+ 0,300	+ 0,210	+ 0,278

X.

Avant de tirer des conclusions de ces expériences, il nous semble opportun de revenir avec un peu plus de détails sur les deux perturbations qui ont atteint nos cultures expérimentales de 1887 et que nous n'avons fait qu'indiquer précédemment en passant.

Nous avons dit (p. 98) que les plantes mises en observation avaient été atteintes par les exhalaisons accidentelles d'une fabrique assez éloignée, pendant la période de la floraison, et que cette circonstance, en même temps qu'elle compromettait le développement de la fleur, avait nui aussi au rendement du grain.

Chaque année, à côté de nos vases d'expériences, nous en plaçons quelques-uns emplantés à peu près de même, d'orge et d'avoine. Ces vases n'ont pas pour objet de compléter ni de confirmer notre démonstration, mais ils nous servent de mesure commode, en mettant chaque jour sous nos yeux le cours d'une végétation, que rien ne trouble, et que nous pouvons comparer à la façon générale dont se comportent les plantes que nous observons longuement et souvent. Ils nous fournissent les mêmes moyens de contrôle que le thermomètre normal que nous suspendons près du thermomètre enregistreur Richard.

Ce fut en effet en voyant blanchir les panicules d'avoine et ensuite en constatant qu'elles demeuraient en partie vides, que nous reconnûmes tout d'abord cette perturbation et cela, assez tôt pour pouvoir en déterminer la cause. Néanmoins, la végétation de l'avoine, comme celle des autres plantes soumises à l'expérience, se poursuivit complètement jusqu'à la maturation, nous indiquant ainsi que la transmission de la substance des organes feuillus aux organes de la fructification avait seule été entravée, mais que le développement normal des premiers, la production de la substance sèche surtout et l'assimilation de l'azote n'avaient en rien souffert.

Les chiffres suivants le démontrent très nettement. Ils sont le résultat d'expériences faites sur l'avoine dans des conditions semblables.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	AZOTE donné en nitrates et en semence.	TOTAL DE LA RÉCOLTE dans les organes aériens	
			en substance sèche.	en azote.
—	—	—	—	—
		Grammes.	Grammes.	Grammes.
		a) *Végétation normale.*		
1883	42 — 44	0,061	5,287 — 5,902	0,041
1884	53 — 55	0,061	5,128 — 5,726	0,035
		b) *Formation du grain troublée.*		
1887	220 — 231	0,061	4,603 — 5,736	0,030 — 0,038

et encore :

		a) *Végétation normale.*		
1883	40 — 41	0,117	10,941 — 10,981	0,080
1884	50 — 52	0,117	9,890 — 11,058	0,076
1885	58 — 65	0,117	9,742 — 12,545	0,087
1886	126 — 127	0,117	11,462 — 11,600	0,080
		b) *Formation du grain troublée.*		
1887	220 — 231	0,117	11,399 — 12,843	0,074 — 0,085

D'un autre côté nos expériences sur les lupins, en 1887, avaient pour la plupart complètement échoué. Nous avons dit précédemment que nous en accusions la réaction acide de la solution nutritive et il nous reste encore à justifier cette assertion.

Depuis fort longtemps, à Dahme d'abord, plus tard à Bernburg, nous nous étions efforcés, mais sans succès, d'utiliser le lupin, comme une plante très bien appropriée à nos recherches sur la nutrition. Il ne nous était jamais arrivé, en effet, que, plantées dans notre sable additionné d'une solution nutritive, ces plantes placées dans les conditions où les graminées aussi bien que d'autres légumineuses végétaient sans accroc, eussent jamais offert une croissance normale. Quelques sujets parvenaient bien à fleurir et même à former leur fruit, mais restaient néanmoins tellement en retard, que nous ne pouvions nous contenter du résultat. Diminution ou augmentation de l'une des substances alimentaires, réduction dans la concentration de la solution nutritive, abaissement de l'humidité du sol, etc., rien n'améliorait la situation.

En 1886, voyant pour la première fois croître des lupins dans un état de santé satisfaisant, cette observation nous entraîna à donner

l'année suivante une plus grande extension à nos expériences sur cette légumineuse, malgré la remarque faite plus haut, que les plantes d'un vase de contrôle, en prenant une teinte jaune maladive dans le cours ultérieur de leur végétation, démontraient que tout, cette fois encore, n'était pas dans l'ordre normal.

Le résultat malheureusement ne répondit en rien à l'espérance que nous avions conçue ; car la plus grande partie des lupins fut perdue. Mais de l'ensemble de nos recherches était au moins ressorti un point bien net cette fois, nous montrant quelle était la faute commise. Toutes les plantes auxquelles l'acide phosphorique avait été donné sous forme de monophosphate de potasse, furent malades, qu'elles eussent ou non reçu une addition de carbonate de chaux ; toutes les plantes au contraire, dans la solution alimentaire desquelles le monophosphate avait été transformé en biphosphate ou en triphosphate par une addition de carbonate de potasse, furent saines et poussèrent normalement.

La constatation de ces deux faits opposés fut si précise et d'une application si générale que nous aurions pu regarder le problème comme résolu, si nous ne nous étions trouvés en présence d'une cause d'influence tout à fait inexplicable et vraiment déconcertante, par cet autre fait qu'en 1886, les lupins, qui de même n'avaient reçu l'acide phosphorique que sous forme de monophosphate de potasse avec addition de carbonate de chaux, avaient crû de façon normale, à une exception près.

Heureusement il nous arriva de trouver assez vite une explication suffisamment plausible de cette contradiction, dans nos recherches ultérieures.

Différents phénomènes nous avaient frappés dans nos essais sur la betterave à sucre. Ces phénomènes, dont l'exposé ne serait pas à sa place ici, n'ayant aucun rapport avec les expériences dont nous parlons, nous engagèrent à soumettre le carbonate de chaux, dont nous faisions usage, à une épreuve plus approfondie. C'était celui que nous avions employé pour expérimenter sur les lupins en 1886, il nous venait d'une fabrique de produits chimiques renommée, éprouvée par nous depuis longtemps et il donna une réaction fortement alcaline.

La lumière s'était faite assez à temps pour nous permettre

de mettre encore en marche, dans le courant de 1887, une série d'expériences nouvelles, qui, portant sur 8 numéros, nous donnait la possibilité d'expérimenter l'effet de quelques modifications apportées tant dans la composition que dans la concentration de la solution nutritive. Voici, dans leur ordre habituel, les résultats que nous avons obtenus :

La dimension des vases, la quantité de sable, l'humidité du sol, la valeur de la semence et le nombre des grains plantés furent les mêmes que pour les vases du n° 272 au n° 321, consacrés aux expériences sur les lupins dans cette même année (v. plus haut, p. 110 et suivantes).

Variété : *Lupinus luteus*.

Période de végétation : 18 juin - 4 novembre.

Alimentation de chaque vase :

	NUMÉROS							
	372.	373.	374.	375.	376.	377.	378.	379.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Monophosphate de potasse	0,544	0,544	0,544	0,272	0,544	0,272	0,272	0,136
Carbonate de potasse	»	»	0,276	0,138	0,276	0,138	0,138	0,069
Chlorure de potassium	0,597	0,149	»	»	0,448	0,224	0,149	0,075
Sulfate de potasse	»	»	0,523	0,261	»	»	»	»
Sulfate de magnésie	0,240	0,240	0,240	0,120	0,240	0,120	0,120	0,060
Chlorure de calcium	»	»	0,444	0,222	»	»	0,111	0,056
Sulfate de chaux	»	»	0,272	0,136	0,272	0,136	»	»
Carbonate de chaux	4,000	4,000	»	»	2,000	1,000	»	»

Tous les numéros reçurent chacun en outre, sans aucune exception, 50 centimètres cubes d'infusion de terre sableuse n° 1 (correspondant à 10 grammes de terre) qui furent mélangés au sable.

On n'a donné d'azote sous aucune forme.

La levée fut bonne et pendant les trois premières semaines les lupins se comportèrent bien.

La période d'inanition dura peu de temps.

Au milieu de juillet, les plantes des deux n°s 372 et 373, qui avaient reçu l'acide phosphorique sous forme de monophosphate, perdirent leur teinte verte et bientôt après jaunirent complètement. Quelques petites feuilles se tachèrent, les autres, desséchées, tombèrent,

enfin ces six plantes furent très malades et le demeurèrent jusqu'à la fin.

Les plantes des six autres numéros, auxquelles on avait donné l'acide phosphorique sous forme de biphosphate, se maintinrent au contraire toujours vertes, sans en excepter aucune, elles poussèrent rapidement et présentèrent des sujets dont le développement était sain et normal. Une seule différence se révéla clairement entre elles: celles qui appartenaient aux numéros ayant reçu une alimentation de moindre concentration, eurent une plus belle apparence dès le début et se développèrent étonnamment plus vite que celles qui avaient reçu une solution concentrée. Aux premiers jours d'août, celles-ci, comme dimension, étaient restées visiblement en arrière des autres et montraient même quelques taches sombres assez particulières sur leurs folioles, mais cet aspect inquiétant disparut bientôt et le temps perdu fut promptement et vigoureusement rattrapé. Les 18 plantes fleurirent bien et fructifièrent normalement. Un seul vase, le n° 379, qui avait reçu l'alimentation la moins concentrée, atteignit au 4 novembre la maturité complète, les autres, vu la saison avancée, durent être récoltés plus ou moins verts encore. Ils ont donné :

VASES.	NOMBRE des graines formées.	SUBSTANCE SÈCHE.					
		Grains.	Balles.	Paille.	Totalité des organes aériens.	Racines.	Plante entière.
		Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
		a) Avec monophosphate.					
372	»	»	»	1,016	1,016	0,878	1,894
373	»	»	»	1,072	1,072	0,145	1,217
		b) Avec biphosphate.					
374	98	5,306	9,040	20,213	34,559	9,959	44,518
375	44	3,994	6,349	25,707	36,050	12,647	48,697
376	28	2,590	3,773	32,328	38,691	12,505	51,196
377	45	3,526	8,986	29,533	42,045	16,402	58,447
378	35	1,790	4,336	29,685	35,811	7,972	43,783
379	35	4,250	4,801	11,142	20,193	6,593	26,786

Dans cette substance sèche, l'analyse faite suivant la méthode Kjeldahl-Wilfarth a indiqué comme proportion centésimale de la teneur en azote :

VASES.	GRAINS.	BALLES.	PAILLE.	RACINES.	PLANTE entière.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
		a) *Avec monophosphate.*			
372	»	»	2.61		2.61
373	»	»	2.60		2.60
		b) *Avec biphosphate.*			
374	7.06	1.76	2.03	2.22	2.56
375	8.01	2.49	1.49	1.64	2.19
376	7.59	1.22	1.37	1.31	1.66
377	7.96	2.55	1.43	1.37	1.98
378	6.79	3.23	1.22	3.35	2.04
379	7.67	0.72	1.44	2.18	2.48

Établissant, sur ces données, la balance de l'azote, comme nous l'avons fait plus haut, nous trouvons :

VASES.	AZOTE fourni par		AZOTE retrouvé dans		AZOTE TROUVÉ EN PLUS OU EN MOINS de la quantité fournie par			
					la semence		la semence et le sol	
	la semence.	la semence et le sol.	la substance sèche de la partie aérienne.	la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.	dans la substance sèche de la partie aérienne.	dans la plante entière.
	Gr.	Gr.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
			a) *Avec monophosphate.*					
372	0,021	0,064	?	0,049	»	+ 0,028	»	— 0,015
373	0,021	0,064	?	0,032	»	+ 0,011	»	— 0,032
			b) *Avec biphosphate.*					
374	0,021	0,064	0,917	1,138	+ 0,896	+ 1,117	+ 0,853	+ 1,074
375	0,021	0,064	0,861	1,068	+ 0,840	+ 1,047	+ 0,797	+ 1,004
376	0,021	0,064	0,686	0,849	+ 0,665	+ 0,828	+ 0,622	+ 0,785
377	0,021	0,064	0,932	1,157	+ 0,911	+ 1,136	+ 0,868	+ 1,093
378	0,021	0,064	0,624	0,892	+ 0,603	+ 0,871	+ 0,560	+ 0,828
379	0,021	0,064	0,521	0,665	+ 0,500	+ 0,644	+ 0,457	+ 0,601

Les chiffres que nous venons de donner parlent assez clairement et n'ont pas besoin de commentaires. Le fait n'est pas douteux : les lupins ne supportent pas sans dommage l'alimentation à réaction acide, dans laquelle l'acide phosphorique est introduit en quantité notable sous la forme de monophosphate de potasse, alimentation dont les graminées et les autres plantes, parmi lesquelles même certaines légumineuses, se trouvent très bien. En outre, la dose de carbonate de chaux, fût-elle relativement importante, ne supprime pas le mal, parce que dans les conditions où sont placés nos essais de culture, la transformation du monophosphate en biphosphate et définitivement en triphosphate de chaux s'opère trop lentement pour faire sentir à temps son influence.

Dans les expériences qui embrassent la période entière de végétation d'une plante, il est impossible d'écarter tous les troubles, quelque soin qu'on y mette ; mais ils perdent leur importance dès qu'on parvient à être exactement fixé sur leur cause et leur portée. Nous espérons donc, après tout ce que nous avons dit, qu'on ne nous blâmera pas, si, par la suite, en rendant compte des résultats fournis par nos expériences sur l'assimilation de l'azote par les végétaux, nous n'attachons aucune valeur particulière à l'absence de fructification constatée en 1887 et si nous ne tenons pas compte des vases dans lesquels les lupins n'ont pas prospéré sous l'influence d'une alimentation acide, en ne nous attachant qu'à ceux qui ont crû normalement dans une solution neutre, ou basique, et que nous considérons comme aussi propres à appuyer une démonstration que les autres végétaux soumis à nos expériences.

XI

En groupant les résultats directs que nous avons indiqués précédemment comme ressortant des expériences faites en 1886 et en 1887, je crois pouvoir formuler ici les propositions suivantes :

a) *Relativement aux graminées.*

Les expériences faites sur l'avoine comme sur l'orge, dans les années 1886 et 1887, ont confirmé sur tous les points ce que nous

avaient appris les recherches faites précédemment en 1883 et en 1885, en démontrant à nouveau :

a) Que la croissance de cette famille de végétaux est dans une relation étroite avec les nitrates renfermés dans le sol et que partout une quantité déterminée d'azote du sol fournit à peu près le même rendement en substance sèche;

b) Que, dans les conditions données, les deux plantes mises en observation n'ont trouvé, en dehors des nitrates existant dans le sol, aucune autre source qui leur permît en y puisant de satisfaire à leur besoin d'azote dans une proportion notable, et qu'il a été toujours retrouvé moins d'azote dans la récolte, qu'il n'en avait été contenu dans la semence, le sol et la solution nutritive au début de l'expérience.

DOSE d'azote donnée (nitrate de chaux). — Grammes.	SUBSTANCE SÈCHE récoltée dans la partie aérienne. — Grammes.	DIFFÉRENCE entre l'azote retrouvé et celui qui avait été fourni dans la semence, le sol et la solution nutritive. — Grammes.
	Orge.	
	1883-1885.	
0,224	20,396 à 23,384	— 0,073 à — 0,106
0,112	10,210 à 11,251	— 0,061 à — 0,068
0,056	5,322 à 5,704	— 0,046 à — 0,049
0,000	0,415 à 0,650	— 0,023 à — 0,025 [1]
	1886.	
0,224	21,292 à 21,459	— 0,087
0,112	11,949 à 12,716	— 0,056
0,000	0,459 à 0,650	— 0,026 à — 0,027 [1]
	Avoine.	
	1883-1885.	
0,224	21,273 à 22,757	— 0,070 à — 0,085
0,112	9,742 à 12,545	— 0,055 à — 0,066
0,056	5,128 à 5,902	— 0,045 à — 0,051
0,000	0,361 à 0,671	— 0,024 à — 0,025 [1]

1. Azote retrouvé dans la plante entière.

DOSE d'azote donnée (nitrate de chaux). — Grammes.	SUBSTANCE SÈCHE récoltée dans la partie aérienne. — Grammes.	DIFFÉRENCE entre l'azote retrouvé et celui qui avait été fourni dans la semence, le sol et la solution nutritive. — Grammes.
	Avoine 1886-1887 (suite).	
0,224	20,702	— 0,086
0,112	11,462 à 12,041	— 0,062 à — 0,064
0,056	4,603 à 5,664	— 0,046 à — 0,049
0,000	0,439 à 0,604	— 0,022 à — 0,027 [1]

Les expériences de 1887 nous ont appris quelque chose de plus encore au sujet de l'avoine.

c) Une addition de carbonate de chaux, relevant la teneur du sol en carbonate de chaux de 1 p. 1000 à 1 p. 100, amena une augmentation dans le rendement, aussi bien que dans l'assimilation de l'azote, mais le gain se maintint dans des limites très minimes sous ces deux rapports.

Avec une dose de 4 gr. de carbonate de chaux, soit 1 p. 1000 du sol, on a obtenu :

NUMÉROS des vases.	ADDITION d'azote donné comme nitrate de chaux.	SUBSTANCE SÈCHE de la partie aérienne.		AZOTE TROUVÉ dans la plante entière.	
		Total.	Moyenne.	Total.	Moyenne.
	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
214	0,000	0,589	0,597	0,007	0,007
215	0,000	0,604		0,006	
220	0,056	4,603	5,134	0,042	0,043
221	0,056	5,664		0,044	
222	0,112	12,041	11,757	0,090	0,090
223	0,112	11,473			

Et avec une dose de 40 gr. de carbonate de chaux = 1 % du sol :

NUMÉROS des vases.	ADDITION d'azote donné comme nitrate de chaux.	SUBSTANCE SÈCHE de la partie aérienne.		AZOTE TROUVÉ dans la plante entière.	
		Total.	Moyenne.	Total.	Moyenne.
	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
218	0,000	0,658	0,663	0,009	0,009
219	0,000	0,668		0,009	
228	0,056	5,736	5,594	0,047	0,046
229	0,056	5,451		0,044	
230	0,112	11,399	12,121	0,101	0,103
231	0,112	12,843		0,104	

1. Azote retrouvé dans la plante entière.

d) Une addition d'infusion terreuse, correspondant à 5 grammes de terre pour 4 kilogr. de sable, est restée sans influence aucune, tant sur la végétation de l'avoine que sur l'assimilation de l'azote.

Sans addition d'infusion terreuse on a obtenu :

NUMÉROS des vases.	ADDITION d'azote donné comme nitrate de chaux.	SUBSTANCE SÈCHE de la partie aérienne.		AZOTE TROUVÉ dans la plante entière.	
		Total.	Moyenne.	Total.	Moyenne.
	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
214	0,000	0,589	0,597	0,007	0,007
215	0,000	0,604		0,006	
220	0,056	4,603	5,134	0,042	0,043
221	0,056	5,664		0,044	
222	0,112	12,041	11,757	0,090	0,090
223	0,112	11,473			

Et avec addition d'infusion terreuse :

NUMÉROS des vases.	ADDITION d'azote donné comme nitrate de chaux.	SUBSTANCE SÈCHE de la partie aérienne.		AZOTE TROUVÉ dans la plante entière.	
		Total.	Moyenne.	Total	Moyenne.
	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
216	0,000	0,659	0,699	0,007	0,008
217	0,000	0,738		0,009	
224	0,056	4,661	4,822	0,038	0,038
225	0,056	4,983		0,037	
226	0,112	11,462	11,639	0,088	0,092
227	0,112	11,816		0,096	

e) Les nitrates existant dans le sol furent assimilés, même quand ils étaient à un très haut degré de dilution, et manifestèrent leur influence ; une dose de nitrate de chaux équivalant à 1 $^3/_4$ d'azote pour 1 million de parties du sol se laissa facilement reconnaître tant par la vigueur de la végétation que dans la teneur des produits récoltés.

NUMÉROS des vases.	DOSE D'AZOTE sous forme de nitrate de chaux	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la partie aérienne.		AZOTE TROUVÉ dans la plante entière.	
		Total.	Moyenne.	Total.	Moyenne.
	Grammes.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
214	0,000	0,589	0,597	0,007	0,007
215	0,000	0,604		0,006	
232	0,007	0,981	1,014	0,011	0,011
233	0,007	1,046		0,011	

f) Le chauffage de la dissolution nutritive et du sable, non plus que la couverture de ouate placée sur ce dernier pendant la végétation, enfin toutes les manipulations que nous avons pratiquées comme moyens de stérilisation, n'ont rien changé à ces conditions et se sont montrées sans action favorable ou pernicieuse sur la végétation de l'avoine.

Pendant l'année 1886, dans nos essais sur l'avoine, aucune de ces opérations n'a été faite et il a été récolté :

POUR une dose d'azote de	SUBSTANCE SÈCHE DE LA PARTIE AÉRIENNE.	Moyenne de toutes les expériences de 1883 à 1886.
Grammes.	Grammes.	Grammes.
0,000	0,361 — 0,671	0,489
0,056	5,128 — 5,902	5,615
0,112	9,742 — 12,545	11,200

En 1887, les expériences sur l'avoine ont été faites dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles on a opéré sur les légumineuses avec des vases stérilisés, et on a récolté :

POUR une dose d'azote de	SUBSTANCE SÈCHE DE LA PARTIE AÉRIENNE.	En moyenne.
Grammes.	Grammes.	Grammes.
0,000	0,589 — 0,604	0,597
0,056	4,603 — 5,664	5,134
0,112	11,473 — 12,041	11,757

Ajoutons enfin ici une remarque au sujet du sarrasin, qui, chaque fois qu'il a été soumis aux mêmes conditions d'expériences que l'avoine, s'est comporté dans tous ses échantillons de la même façon qu'elle.

Rien n'a indiqué que le sarrasin, pour satisfaire en tout ou en partie seulement à son besoin d'azote, pût puiser à d'autres sources que celles qui lui sont offertes par les combinaisons assimilables existant dans le sol ;

Sur elle, l'infusion de terre est restée sans effet ;

L'augmentation du carbonate de chaux dans le sol n'a produit ni élévation notable dans le rendement, ni, comme conséquence, assimilation plus active de l'azote.

Mais ce résultat a pu être obtenu par les plus faibles doses de nitrates introduites dans le sol, ne fût-ce que dans la proportion de 1 $^3/_4$ d'azote pour 1 million de parties du sol.

On trouvera facilement, dans le petit tableau donné page 210, les chiffres qui justifient ces assertions.

b) *Relativement aux légumineuses.*

Les essais de culture faits en 1886 ont d'abord confirmé les résultats des expériences précédentes, car ils ont montré :

a) Que, dans notre sable, les pois, même alimentés avec une solution dépourvue d'azote, pouvaient avoir une belle végétation et assimiler de l'azote en quantité appréciable ; mais que cette croissance et cette faculté d'assimilation ne se montraient pas également chez tous les sujets et dépendaient visiblement d'une cause, agissant tout à fait accidentellement et sans aucune régularité.

Dans ces conditions, on a obtenu :

ANNÉES.	NUMÉROS.	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante entière en plus ou en moins que l'azote fourni par la semence et le sol.
—	—	—	—
		Grammes.	Grammes.
1883-1885	»	0,551 à 33,147	—0,187 à +1,242
			Dans la partie aérienne. —
1886	130 à 159	1,640 à 20,372	+0,000 à +0,529

Les essais culturaux de 1886, concordant avec ceux de 1887, nous ont de plus fixés sur les points suivants :

b) Dès qu'on stérilisait les vases, la solution nutritive, ainsi que le sable et dès qu'on couvrait celui-ci de ouate stérilisée pendant la végétation, les légumineuses de nos cultures se comportaient exactement comme les graminées, c'est-à-dire qu'on n'obtenait pas d'elles une croissance normale ou même appréciable, si l'on n'introduisait pas de nitrates dans leur alimentation et que dans les produits récoltés se trouvait toujours moins d'azote qu'il n'en avait été fourni au début par la semence et le sol.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	DOSE de nitrate.	RÉCOLTE en substance sèche de la partie aérienne.	BILAN de l'azote.
			Grammes.	Grammes.
		Serradelle.		
1887	242	0	0,092	— 0,022
	243	0	0,063	— 0,022
		Lupins.		
1887	285	0	0,919	— 0,049
	286	0	0,800	— 0,050
	289	0	0,921	— 0,051
	290	0	1,021	— 0,051
		Pois.		
1886	170	0	0,515	— 0,030
	171	0	0,559	— 0,030
1887	322	0	0,779	— 0,025
	323	0	0,744	— 0,025
	324	0	0,928	— 0,024

c) On a pu, même sans introduire de nitrate dans l'alimentation, obtenir une végétation belle et normale aussi bien qu'une assimilation visible de l'azote, et cela sans aucune exception, dès qu'on donnait au sable une faible quantité d'infusion faite avec de la terre arable en bon état de culture (infusion de terre sableuse, à la dose de 5 grammes de terre pour 4 kilogr. de sable), nos légumineuses ainsi traitées se sont comportées, d'une façon précise et caractéristique, tout autrement que les graminées.

Dans des conditions de végétation absolument semblables à celles de tous les numéros inscrits au-dessous de la lettre *b*), voici ce qu'ont donné les numéros additionnés d'infusion de terre sableuse :

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	DOSE de nitrate.	RÉCOLTE en substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ en plus ou en moins que l'azote fourni par la semence et le sol.
			Grammes.	Grammes.
		Serradelle.		
1887	244	0	16,864	+ 0,326
	245	0	18,190	+ 0,373
	248	0	11,686	+ 0,330
	249	0	16,411	+ 0,421

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	DOSE de nitrate.	RÉCOLTE en substance sèche de la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ en plus ou en moins que l'azote fourni par la semence et le sol.
—	—	—	— Grammes.	— Grammes.
		Lupins [1].		
1887	287	0	44,718	+ 1,077
	288	0	45,611	+ 1,089
	291	0	44,481	+ 1,121
	292	0	42,451	+ 1,243
		Pois.		
1887	339	0	17,616	+ 0,449
	340	0	20,426	+ 0,451
	341	0	15,962	+ 0,413

d) Les infusions de terre d'origines différentes n'ont pas une influence égale ; aussi l'action de l'infusion faite avec la terre sableuse, venant d'un terrain qui n'avait jamais reçu d'engrais et qui avait été rarement cultivé, resta de beaucoup inférieure à celle des infusions faites avec une terre bien cultivée. En même temps on put voir que l'infusion d'une même terre n'agissait pas également sur la végétation des différentes légumineuses ; ainsi, par exemple, l'infusion de bonne terre à betteraves, prise dans notre champ d'expériences, a été favorable à la croissance des pois plantés dans un sol dépourvu d'azote, tandis qu'elle est demeurée sans influence aucune sur le développement de la serradelle et des lupins.

En voici la preuve :

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	DOSE de nitrate.	SUBSTANCE SÈCHE récoltée dans la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante en plus ou en moins qu'il n'en avait été fourni par la semence et le sol.
—	—	—	— Grammes.	— Grammes.
		Pois.		
Après addition d'infusion de terre sableuse de Güterglück (5 gr. de terre pour 4 kilogr. de sable).				
1887	339	0	17,616	+ 0,449
	340	0	20,426	+ 0,451
	341	0	15,962	+ 0,413

1. Les lupins, végétant dans un milieu de volume double, avaient reçu aussi deux fois plus d'infusion de terre que la serradelle et les pois.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	DOSE de nitrate.	SUBSTANCE SÈCHE récoltée dans la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante en plus ou en moins qu'il n'en avait été fourni par la semence et le sol.
—	—	—	— Grammes.	— Grammes.
Infusion de terre à betteraves du champ d'expériences (5 gr. : 4000 gr.).				
1887	325	0	16,617	+ 0,291
	326	0	12,613	+ 0,269
	327	0	20,096	+ 0,598
Infusion d'une autre terre à betteraves des environs de Bernburg (5 gr. : 4000 gr.).				
1887	337	0	19,711	+ 0,461
	338	0	27,358	+ 0,698
Infusion d'une terre très pauvre et presque inculte du domaine de Dahme (5 gr. : 4000 gr.).				
1887	342	0	0,919	— 0,024
	343	0	6,571	+ 0,138
Serradelle. Infusion de terre sableuse de Güterglück (5 gr. : 4000 gr.).				
1887	244	0	16,864	+ 0,326
	245	0	18,190	+ 0,373
	248	0	11,686	+ 0,330
	249	0	16,411	+ 0,421
Infusion de terre à betteraves du champ d'expériences (5 gr. : 4000 gr.).				
1887	252	0	0,075	— 0,022
	253	0	0,055	— 0,022

e) La calcination préalable du sable, ainsi que les autres manipulations pratiquées pour stériliser les vases, etc., n'ont ni entravé ni surexcité l'action des infusions de terre.

Dans nos cultures de pois de 1887, tous les numéros qui devaient recevoir de l'infusion de terre avaient été traités, avant qu'on la leur donnât, de la même façon que les numéros stérilisés ; mais, en 1886, les vases d'expériences n'avaient subi aucune de ces opérations et voici des résultats qui peuvent nous fixer sur ce point :

Pois.

Alimentés par une solution dépourvue d'azote ; mais ayant reçu une infusion de terre à betteraves de notre champ d'expériences (5 gr. de terre pour 4000 gr. de sable) :

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante en excédent de ce qui a été fourni par la semence et le sol.
—	—	—	—
		Grammes.	Grammes.
1886	160 à 169	15,789 à 19,743	+ 0,387 à + 0,482
1887	325 à 327	12,613 à 20,096	+ 0,269 à + 0,598

f) L'infusion de terre, chauffée pendant un temps assez long à 100° C., perdait complètement son influence.

Voici les résultats donnés par des essais faits parallèlement à ceux auxquels étaient soumis les vases, cités à l'appui des propositions *b*) et *c*), essais dans lesquels à une solution nutritive, où l'azote manquait, on a ajouté une infusion de terre préalablement portée à l'ébullition :

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la partie aérienne.	AZOTE RETROUVÉ dans la plante en moins de ce que contenaient la semence et le sol.
—	—	—	—
		Grammes.	Grammes.
		Serradelle.	
1887	246	0,084	— 0,022
	247	0,109	— 0,022
		Pois.	
1887	328	0,898	— 0,023
	329	0,842	— 0,021
	330	0,922	— 0,023

g) Les nitrates existant dans le sol ont été absorbés et utilisés par les légumineuses.

En leur donnant une dose additionnelle de nitrate de chaux, on ne remarqua jamais dans ces plantes, sinon dans certaines conditions déterminées, le passage à la période d'inanition après l'épuisement de la réserve contenue dans la semence ; elles poussèrent au contraire régulièrement et sans interruption depuis la sortie du germe jusqu'à la fin ; l'état d'inanition apparaissait seulement dès que l'approvisionnement en nitrate était consommé.

h) Dans un sol stérilisé les légumineuses se comportèrent exactement comme les graminées vis-à-vis des nitrates, c'est-à-dire,

qu'une quantité déterminée d'azote nitrifié fournissait un rendement à peu près égal en substance sèche, et la récolte a toujours donné à l'analyse moins d'azote qu'il n'en avait été fourni par la semence, le sol et la solution nutritive au commencement de l'expérience.

i) Mais si avec les nitrates et en même temps qu'eux on donnait aux plantes la moindre quantité d'infusion terreuse, celle-ci ajoutant son action à celle des nitrates, le rendement cessait d'être en rapport direct avec l'azote du sol et la teneur de la récolte accusait un excédent très marqué sur la teneur en azote constatée à l'origine.

k) Le gain en azote, que l'on peut atteindre en donnant aux plantes une infusion de terre, a été toujours beaucoup plus faible quand, en même temps, il se trouvait des nitrates dans le sol, que lorsqu'il n'y en avait pas.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	AZOTE donné en nitrate de chaux. — Grammes.	SUBSTANCE sèche fournie par la partie aérienne. — Grammes.	CHIFFRES du bilan de l'azote. — Grammes.
		Serradelle[1].		
		Sans infusion de terre.		
1887	254	0,056	2,838	— 0,050
	255	0,056	2,927	— 0,049
	256	0,112	6,223	— 0,064
	257	0,112	6,858	— 0,064
		Avec infusion de terre sableuse.		
1887	258	0,056	11,936	+ 0,105
	259	0,056	15,324	+ 0,169
	260	0,112	11,037	+ 0,042
	261	0,112	17,077	+ 0,183
	244	0,000	16,864	+ 0,326
	245	0,000	18,190	+ 0,373
	248	0,000	11,686	+ 0,330
	249	0,000	16,411	+ 0,421

1. Dans les essais parallèles sur les pois, ces rapports se sont montrés moins précis et moins clairs, parce que, la végétation tout entière l'a déjà prouvé, nous n'avons pas pu poursuivre la stérilisation jusqu'à la fin. Nous trouverons une autre occasion de donner quelques détails sur les causes de ce fait, que, dans les conditions où nous nous étions placé, la poursuite de la stérilisation jusqu'aux jours de la récolte est plus difficile à appliquer aux pois qu'à la serradelle et aux lupins.

l) Rien n'a indiqué que les légumineuses eussent la faculté particulière et exceptionnelle de découvrir dans le sol, mieux que les graminées, les traces de combinaisons azotées qui s'y rencontrent à l'état assimilable, de se les approprier et de les emprunter à des solutions extrêmement diluées.

La comparaison des chiffres donnés par nos essais sur les légumineuses avec ceux qui ont été rapportés plus haut (A *c*) au sujet des graminées conduit à cette conclusion.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	AVEC AZOTE donné (nitrate de chaux). Grammes.	SUBSTANCE sèche fournie par la partie aérienne. Grammes.	AZOTE retrouvé dans la plante entière. Grammes.
		Serradelle.		
		En sol stérilisé.		
1887	242	0,000	0,092	0,001
	243	0,000	0,063	0,001
	262	0,001	0,209	0,002
	263	0,007	0,272	0,003
		En sol stérilisé avec addition d'infusion de terre bouillie.		
1887	246	0,000	0,084	0,001
	247	0,000	0,109	0,001
	264	0,007	0,316	0,003
	265	0,007	0,297	0,004
		Pois.		
		En sol stérilisé.		
1887	322	0,000	0,779	0,013
	323	0,000	0,744	0,013
	324	0,000	0,928	0,014
	356	0,007	1,339	0,013
	357	0,007	1,308	0,013
	358	0,007	1,265	0,014
		En sol stérilisé avec addition d'infusion de terre bouillie.		
1887	328	0,000	0,898	0,015
	329	0,000	0,842	0,014
	330	0,000	0,922	0,015
	359	0,007	1,044	0,018
	360	0,007	1,071	0,016
	361	0,007	1,155	0,016

m) L'élévation de la teneur du sol en carbonate de chaux n'a rien changé aux résultats précédents et est demeurée sans aucun effet.

ANNÉES.	NUMÉROS des vases.	AVEC ADDITION de carbonate de chaux.	AVEC ADDITION d'azote.	SUBSTANCE sèche fournie par la partie aérienne.	CHIFFRES du bilan de l'azote.
—	—	— Grammes.	— Grammes.	— Grammes.	— Grammes.
		Serradelle.			
		Sans infusion de terre.			
1887	242	4	0,000	0,092	— 0,022
	243	4	0,000	0,063	— 0,022
	266	40	0,000	0,135	— 0,022
	267	40	0,000	0,092	— 0,022
	256	4	0,112	6,223	— 0,064
	257	4	0,112	6,858	— 0,064
	270	40	0,112	6,077	— 0,064
	271	40	0,112	6,837	— 0,068
		Avec infusion de terre.			
1887	244	4	0,000	16,864	+ 0,326
	245	4	0,000	18,190	+ 0,373
	248	0	0,000	11,686	+ 0,330
	249	0	0,000	16,411	+ 0,421
	268	40	0,000	17,370	+ 0,364
	269	40	0,000	13,491	+ 0,265

XII

Voici en substance ce qui ressort clairement des résultats que nous venons d'exposer :

Si, dès le début de l'expérience, on stérilise un milieu de culture, tel que le sable quartzeux dont nous nous servons, et qu'on le maintienne dans le même état pendant la période entière de végétation, les graminées et les légumineuses qu'on y cultive, se comportent absolument de même; c'est-à-dire qu'aucune quantité de nitrate n'étant donnée au sol, non plus qu'aucune combinaison azotée assimilable, la production des papilionacées, comme celle des graminées, etc., reste à son minimum ou même est à peu près nulle. Mais

une addition de nitrate a pu activer la végétation des plantes, papilionacées aussi bien que graminées, et, dans ce cas, la production a toujours été en rapport à peu près direct avec la quantité de nitrate fournie[1], tout le temps que la dose d'azote n'a pas été excédante par rapport à un autre facteur de la végétation, et l'on a toujours retrouvé dans la récolte moins d'azote qu'il n'en existait originairement dans le sol. Enfin, rien n'indique dans nos expériences qu'il se rencontre une plante, papilionacée, graminée ou autre, ayant la faculté de satisfaire à son besoin d'azote, en tout ou en partie, ou seulement de s'assimiler une quantité appréciable de cet aliment, en le puisant ailleurs que dans la provision d'azote assimilable emmagasiné par le sol.

Mais si on additionne le sable d'une infusion préparée avec de la terre arable en bon état de culture, il se produit alors, dans la manière d'être des plantes qu'on a semées, avec une netteté qui ne permet pas de la méconnaître, une différence typique et non purement quantitative, qui se manifeste de la façon suivante :

Dans la végétation des graminées rien n'est changé ; les conditions de la production restent ce qu'elles étaient dans le sable stérilisé. En un mot, l'infusion de terre se montre absolument sans influence sur leur développement.

Les papilionacées, au contraire, en recevant la dose d'infusion terreuse, même sans addition de nitrate ou de toute autre combinaison azotée normalement assimilable, acquièrent la faculté de

---

1. Quoique nous ayons dit plus haut qu'on ne peut fixer par un chiffre le coefficient d'influence de l'azote sur les légumineuses d'une façon aussi commode qu'on le fait pour les graminées, et que nous soyons peu en état encore de donner même approximativement ces chiffres, les bases dont nous disposons étant encore trop peu nombreuses, il me semble néanmoins que nos expériences contiennent des indications suffisantes pour déterminer numériquement l'action de l'azote même sur les papilionacées, si, cultivant ces plantes dans un sol stérilisé qu'on enrichit de nitrates, on les préserve pendant la végétation de l'invasion des micro-organismes. Dans tous les cas, nos essais de culture montrent évidemment que le coefficient d'influence de l'azote est essentiellement plus faible pour les papilionacées que pour les graminées ; ainsi dans des circonstances ordinairement favorables on doit compter qu'une partie d'azote donne de 90 à 100 parties de substance sèche pour l'avoine et pour l'orge, tandis que dans les mêmes conditions on ne peut attendre d'une partie d'azote que 50 à 60 parties de substance sèche dans la serradelle (voir les rendements des vases n°s 242, 243, 254, 255, 256, 257, p. 217).

croître et même de se développer d'une façon luxuriante ; elles peuvent assouvir pleinement leur besoin d'azote à une source qui est complètement fermée pour les graminées, et elles accusent, dans leur récolte, une quantité importante d'azote en plus que celle qui a été donnée dans le sol dès le début de la végétation.

Il reste à examiner si et jusqu'à quel point ces constatations, qui se lient à d'autres observations précédemment mentionnées, peuvent justifier notre hypothèse, que l'influence singulière de l'infusion terreuse, aussi bien que la façon particulière dont se conduisent les papilionacées dans l'assimilation de l'azote, doivent être attribuées à l'action de micro-organismes et si, enfin, les résultats de nos expériences peuvent répondre en même temps aux quelques objections qu'a déjà soulevées notre travail.

Nous affirmons tout d'abord que la différence caractéristique entre la manière dont se comportent les papilionacées dans le sable stérilisé et leur façon d'être dans ce même milieu, quand il est pourvu d'une infusion de terre, accuse et précise uniquement l'action de cette infusion, à l'exclusion de toute autre cause.

En tout cas, il est établi expérimentalement que, non seulement la substance humique et l'argile du sol, mais encore le sable quartzeux subissent certaines transformations, si on les porte au rouge ou même seulement à une température de 100° : or, dans nos vases d'expériences stérilisés nous avons chauffé le sable jusqu'à 200° et quelquefois même nous l'avons porté au rouge.

Mais nous pouvons heureusement prouver en rappelant nos expériences de 1887, portant sur ce point, que les transformations ainsi opérées n'ont pas eu dans nos cultures d'influence sensible sur l'assimilation de l'azote par les plantes.

En 1887, tous les vases concourant à nos recherches, qu'on les comptât ou non comme stérilisés, qu'ils dussent recevoir ou non une addition d'infusion terreuse, furent tout d'abord traités exactement de la même façon, c'est-à-dire que le sable et la solution nutritive passèrent à l'étuve, que les grains destinés à la semaille furent lavés dans une solution de bichlorure de mercure et que le sol pendant toute la période de végétation resta couvert de ouate stérilisée.

Le succès éclatant dû à l'addition d'une infusion terreuse, tant pour cette année que pour les autres années de recherches, dans la végétation des papilionacées, met hors de doute que c'est dans son rôle seul qu'on doit chercher la cause de ce développement et non ailleurs, à moins qu'on ne veuille admettre qu'une dose de cette infusion rend au sable d'une façon quelconque la propriété d'emmagasiner de l'azote, après qu'elle lui avait été enlevée par les procédés de stérilisation. Cette opinion n'a guère de vraisemblance, mais elle est d'ailleurs directement réfutée par l'observation faite en 1887 et de laquelle il ressort qu'une infusion de terre *marno-lehmeuse humique* prise dans notre champ d'expériences n'a eu d'action que sur certaines papilionacées, les pois de champ communs, par exemple, et est restée tout à fait sans influence sur d'autres, tels que la serradelle et les lupins.

Nous affirmons en outre qu'on ne peut pas attribuer l'action de l'infusion terreuse à sa teneur éventuelle en substances pouvant servir d'aliments aux plantes, et à l'appui de cette assertion nous donnons les détails supplémentaires suivants, en continuant à désigner par abréviation : l'infusion de terre *à betteraves* de notre champ d'expériences par L. I ; celle de *terre à betteraves* prise sur la rive droite de la Saale près de Bernburg par L. II. ; celle de terre sableuse de Güterglück par S. T. ; et celle de la terre sableuse de Dahm par S. II.

Comme on l'a vu dans la description des expériences donnée plus haut, chaque vase de culture a été régulièrement alimenté de 25 cent. cubes d'infusion, à l'exception des plus grands qui, contenant 8 kilogr. de sable, en ont reçu 50 cent. cubes chacun. C'est dans ces vases que furent plantés les lupins en 1887.

Voici les résultats de l'analyse :

	INFUSION. — Cent. cubes.	MATIÈRE solide. — Milligr.	AZOTE contenu. — Milligr.	PLANTES qui ont reçu l'infusion. —
		Année 1886.		
L. I.	25	?	0,35	Pois.
		Année 1887.		
L. I.	25	45,9	0,28	Avoine et sarrasin.
	25	55,1	0,35	
	25	60,4	0,35	

	INFUSION. — Cent. cubes.	MATIÈRE solide. — Milligr.	AZOTE contenu. — Milligr.	PLANTES qui ont reçu l'infusion. —
		Année 1887.		
L. I.	25	21,5	0,21	Pois.
	25	21,7	0,21	
L. II.	25	35,8	0,28	
	25	36,1	0,28	
S. I.	25	143,8	0,69	
	25	122,2	0,69	
S. II.	25	7,1	0,14	
	25	15,0	0,14	
L. I.	25	?	0,21	Serradelle.
	25	16,3	0,21	
S. T.	25	27,1	0,14	
	25	28,2	0,14	
S. I.	50	99,0	0,49	Lupins.
	50	99,6	0,49	

Pour déterminer l'azote, nous nous sommes servi de la méthode Kjeldahl-Wilfarth avec addition de sucre et nous avons opéré en faisant passer à l'étuve sur un *bain-marie* chaque dose de 25 ou de 50 cent. cubes d'infusion, placée dans un récipient, puis en la traitant par l'acide sulfurique. Craignant que, par ce procédé, il ne se produisît une perte notable d'azote, nous avons opéré la dessiccation en vase clos ; puis, laissant refroidir le produit de cette distillation, nous l'avons titré séparément. Celui-ci, en général, n'a jamais révélé la présence d'ammoniaque en quantité appréciable, et dans quelques cas seulement, où la haute teneur de l'infusion en azote a rendu l'analyse possible, on a trouvé :

	INFUSION. — Cent. cubes.	AZOTE sous forme d'ammoniaque. — Milligr.
L. I.	25	0,04
S. I.	25	0,07

En voyant, par les précédentes déterminations, combien variaient

dans leur teneur les infusions de terres différentes et même celles d'un seul et même sol, on s'explique facilement que nous ayons mesuré arbitrairement et sans uniformité le temps nécessaire au dépôt des corps solides dans la préparation des infusions, et par conséquent que nous les ayons utilisées lorsqu'elles tenaient encore plus ou moins de matières en suspension.

Néanmoins, les chiffres, que nous avons obtenus, montrent que la quantité d'azote introduite dans le sol par les infusions de terre n'a atteint, dans aucun cas, la valeur d'un milligramme.

Si l'on veut bien se souvenir, d'une part, combien faible fut l'effet obtenu par nous d'une dose de 7 milligr. d'azote, donnée sous forme de nitrate de chaux, et, d'autre part, si l'on considère que le gain d'azote, accusé par les légumineuses après addition d'infusion de terre, a atteint régulièrement plusieurs centaines de milligrammes et dans certaines circonstances s'est élevé même à plus d'un gramme, on verra que rien n'autorise à faire jouer un rôle quelconque, dans l'action de l'azote, à la quantité minime pour laquelle ce métalloïde entre dans la composition de l'infusion terreuse.

On s'expliquera en même temps aussi, que dans les calculs destinés à dresser le bilan de l'azote, calculs dans lesquels nous avons négligé les fractions de milligramme, nous ayons pu laisser complètement de côté les quantités d'azote introduites dans le sol par les infusions de terre.

Enfin, quant à leur teneur possible en d'autres substances nutritives, qui serait venues s'ajouter au mélange alimentaire donné par nous aux plantes, il n'y fut pas attaché plus d'importance qu'à leur teneur en azote. Déjà les faibles proportions indiquées plus haut comme fournies par les résidus dus à l'évaporation, suffisaient pour nous rassurer, si l'on considère surtout que la plus grande partie n'était formée que de sable très fin, d'argile, etc. ; mais les analyses suivantes sont venues confirmer notre opinion avec plus de précision encore.

Voici ce qu'on trouva dans les infusions :

	PAR LITRE. — Grammes.	PAR 25 cent. cubes d'infusion. — Milligr.
1° *Infusion L. I.*		
Substance sèche	2,2151	
Perte par calcination	0,1920	
Résidu incombustible	2,0231	
Insoluble dans l'acide chlorhydrique	1,3615	
Partie soluble dans l'acide chlorhydrique	0,6616	
Composition de la partie soluble :		
Acide phosphorique	0,0080	0,20
Chaux	0,0918	2,30
Magnésie	0,0210	0,53
Acide sulfurique	0,0294	0,74
Potasse	0,0415	1,04
Soude	0,0221	
2° *Infusion S. I.*		
Substance sèche	1,3593	
Perte par calcination	0,1132	
Résidu incombustible	1,2461	
Insoluble dans l'acide chlorhydrique	1,0270	
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0,2191	
Composition de la partie soluble :		
Acide phosphorique	0,0125	0,31
Chaux	0,0055	0,14
Magnésie	0,0120	0,30
Acide sulfurique	0,0078	0,20
Potasse	0,0091	0,23
Soude	0,0164	
3° *Infusion S. II.*		
Substance sèche	1,0951	
Perte par calcination	0,1830	
Résidu incombustible	0,9121	
Insoluble dans l'acide chlorhydrique	0,6261	
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0,2860	
Composition de la partie soluble :		
Acide phosphorique	0,0120	0,30
Chaux	0,0108	0,27
Magnésie	0,0133	0,33
Acide sulfurique	0,0099	0,25
Potasse	0,0117	0,29
Soude	0,0141	

Mais alors, si l'influence de l'infusion terreuse ne peut être attribuée d'une façon quelconque à la propriété qu'elle donnerait au sable d'emmagasiner de l'azote, non plus qu'à sa teneur en substances nutritives pour les végétaux, où donc pouvons-nous la chercher?

Eh bien, nous l'affirmons aujourd'hui : nos investigations doivent porter sur l'action des micro-organismes, des germes de champignon, introduits dans le sable avec la terre infusée, et les observations suivantes viennent à l'appui de cette assertion :

a) Il suffit d'une quantité très faible d'infusion terreuse pour obtenir un effet complet.

En 1886 et en 1887, comme nous l'avons souvent répété, nous avions donné partout 25 cent. cubes d'infusion pour 4 kilogr. de sable, et ces 25 cent. cubes de liquide étaient obtenus chaque fois par la dissolution de 5 grammes de terre arable. Si donc on considère qu'en opérant ainsi, toute la matière du sol n'était jamais épuisée, nous sommes en droit de dire qu'avec les infusions, nous n'introduisions dans aucun cas dans notre sable les éléments actifs d'une terre de champ que dans la proportion tout au plus de 1 p. 1000.

b) La façon dont se développent les légumineuses, activées dans leur croissance par une dose d'infusion terreuse, montre un grand nombre de particularités qui ne peuvent guère s'expliquer que par l'influence des micro-organismes.

Pour éviter les répétitions, nous nous permettons de renvoyer à ce qui a été dit plus haut, *de la p. 165 à la p. 170.*

c) Si l'on fait bouillir quelque temps (une demi-heure) l'infusion de terre, elle perd complètement son influence sur la végétation des légumineuses.

Mentionnons ici, par anticipation, ce que nous ont appris les expériences faites en 1888 : il suffit de porter une infusion de terre à la température de 70° C. pour annihiler complètement et sûrement son action.

d) Les infusions de terre de champ de différentes natures ont une influence très variable sur le développement des légumineuses, et l'infusion d'une même terre a une action spéciale et sans uniformité sur les diverses sortes de légumineuses.

Il suffira de rappeler à ce sujet que nous avons toujours pu, par exemple, agir sur la croissance des pois et des vesces, en leur donnant une infusion de la terre prise dans notre champ d'expériences (L. I.), tandis que cette même infusion est demeurée constamment sans effet sur la végétation des lupins et de l'ornithopus.

Enfin, et cette dernière observation nous semble plus probante que toute autre :

e) Les légumineuses peuvent dans des circonstances données, même sans avoir reçu aucune infusion de terre, croître normalement dans un sol dépourvu d'azote et en assimiler des quantités notables, si l'on ne s'oppose pas avec soin à l'apport des spores de champignons par l'air atmosphérique.

Nos cultures de pois en ont fourni chaque année nombre de témoignages. C'est justement cette observation qui nous a engagés, dès l'abord, à entrer plus avant dans cette question par la voie expérimentale.

XIII.

De ces diverses considérations est née la pensée, que l'accumulation particulière de l'azote dans les légumineuses, constatée par nous, doit être précisément attribuée à la coopération des micro-organismes. Cette opinion, suffisamment fondée sur les observations faites aux cours de nos expériences, nous a porté à faire un pas de plus, en nous obligeant à admettre que cette action repose sur une symbiose des micro-organismes et des légumineuses, et qu'aux différentes sortes de légumineuses s'attachent aussi différentes sortes de micro-organismes. Nous concevons ici la symbiose dans sa plus large signification, comme un rapport dans lequel deux végétaux de nature différente exercent réciproquement une influence active sur les fonctions de leur existence.

Il ressort des expériences de Berthelot qu'une terre cultivée, qu'elle porte ou non des végétaux, peut, dans certaines circonstances favorables, s'enrichir sensiblement en azote sous une forme qui ne permet pas à l'eau de pluie de l'entraîner, et il attribue ce phénomène à l'activité des bactéries existant dans le sol. D'un autre côté,

Frank, dans ces derniers temps, a observé un accroissement de l'azote dans le sol, dû à l'action vitale d'algues et de mousses.

Il y a peut-être lieu de se demander si ces deux constatations ne suffisent pas déjà à expliquer de tous points l'assimilation de l'azote constatée dans nos expériences. Nous croyons pouvoir affirmer qu'il n'en est rien, en nous appuyant sur les motifs suivants.

Si l'on admet que les phénomènes observés au sujet de la transformation de l'azote libre de l'atmosphère en combinaisons assimilables par l'intermédiaire des micro-organismes existant dans le sol, n'ont aucun rapport avec les plantes qui y végètent, il est difficile d'expliquer pourquoi, par exemple, les pois savent admirablement utiliser les sources d'alimentation qui s'offrent ainsi à eux, tandis que, malgré leur végétation d'une durée égale, l'orge, l'avoine, le sarrasin, etc., ne peuvent en tirer aucun profit, ou tout au plus un profit insignifiant. Il serait plus difficile encore de dire pourquoi dans nos expériences l'addition d'une faible dose d'infusion, préparée avec notre terre à betteraves, n'a jamais exercé une influence quelque peu sensible sur la végétation des lupins et de la serradelle, tandis qu'elle activait sûrement celle des pois, au point de les amener à leur développement complet et normal.

Il resterait peut-être, comme dernière ressource, à affirmer que les différentes espèces des champignons inférieurs font aussi entrer l'azote libre de l'air en différentes combinaisons et que ces formes diverses de combinaisons azotées ne sont pas également assimilables par toutes les variétés de plantes d'organisation supérieure. Mais une telle assertion n'est appuyée, à notre connaissance, par aucun fait connu, et nous n'en avons trouvé la confirmation nulle part dans nos propres observations.

Enfin, à notre avis, demeurerait alors tout à fait inexplicable ce fait, observé par nous non pas une, mais maintes fois, que parmi un certain nombre d'individus d'une même variété, des pois par exemple, qui étaient plantés dans le même vase, tous ayant mené à bien leur germination, ayant crû normalement et uniformément, tant que leur a suffi la réserve alimentaire contenue dans la semence, sont tous entrés simultanément dans la période d'inanition, et que souvent, l'un d'eux seul se relève brusquement aujourd'hui, un autre parfois

quelques semaines plus tard, un troisième enfin pas du tout, les premiers et les seconds poussant tout d'un coup avec une vigueur étonnante, la moindre quantité d'infusion terreuse suffisant à faire disparaître cette inégalité dans la croissance, dès qu'on l'introduit dans les vases de culture.

Tous ces phénomènes, au contraire, n'ont rien d'étrange, si l'on admet que les végétaux supérieurs entrent en rapport étroit avec les micro-organismes, collecteurs d'azote, et que l'influence bienfaisante de ces derniers a besoin, pour s'exercer complètement, de la présence de ces végétaux.

Il n'est peut-être pas superflu de faire expressément observer que nous n'entendons pas ici mettre en doute, ni méconnaître la faculté que possèdent les bactéries, etc., de combiner l'azote libre de l'air et de se l'assimiler. Nous affirmons seulement que, dans notre cas, le gain en azote des légumineuses ne pouvait s'expliquer comme provenant de cette source, et nous trouverons encore l'occasion de revenir sur les expériences, dans lesquelles nous avons vu, quoiqu'on n'eût en rien entravé l'introduction de germes bactériques dans le sol et qu'on eût fourni en abondance les algues et les mousses indiquées par Frank, la serradelle et les lupins périr affamés d'azote, sans avoir pu tirer le moindre profit de cette source d'alimentation.

Comme toutes nos expériences se faisaient dans des vases de verre, la production de cryptogames de couleur verte ne pouvait avoir lieu sans être remarquée, et, peut-être, est-ce ici le moment d'aborder un point qu'il me faut examiner de plus près.

Dans la description de nos cultures d'essai de 1887, nous avons fait remarquer la contradiction qui se manifesta dans certains numéros de la série des pois frappés d'un insuccès évident.

Ainsi, par exemple, les plantes d'un numéro de contrôle (n° 363), quoiqu'elles fussent dans un sol stérilisé et n'eussent reçu, même tardivement, ni dose d'azote, ni infusion de terre, se tirèrent de la période d'inanition et, bien que restant de taille modeste, se développèrent et assimilèrent une quantité d'azote, qui n'était pas à négliger; puis les plantes des deux numéros de contrôle 345 et 347, auxquelles avait été donnée une dose de nitrate, mais sans infusion de terre, après avoir végété au début en concordance parfaite avec

les autres, ne commencèrent à pousser qu'un peu plus tard, et montrèrent dans la récolte un gain d'azote contrairement au résultat qu'accusaient les autres vases traités comme eux.

Pour expliquer cet insuccès partiel, nous l'avions attribué à la stérilisation et nous avions même ajouté que dans les expériences, faites par nous avec la serradelle parallèlement aux lupins, il n'y avait eu absolument aucune contradiction semblable.

Nous ne nous sommes fait, dès l'origine, aucune illusion sur notre méthode de stérilisation. Fût-il possible, en suivant exactement les précautions les plus minutieuses de placer nos cultures dans des conditions parfaites de stérilisation au début de l'expérience, nous ne pouvions pas douter que la simple couverture de ouate stérilisée, difficile à appliquer à certaines plantes à cause de leur structure particulière et fort défectueuse, n'était qu'un moyen très imparfait de maintenir la stérilisation du sol pendant toute une période de végétation. Nous en aurions douté, que l'apparition d'algues vertes nous eût bientôt convaincu.

Il est certain que la stérilisation complète d'une culture expérimentale ne peut être obtenue que dans un lieu parfaitement clos, sous une cloche. Si nous avons négligé de prendre ces précautions dans notre travail, c'est que la simple expérience nous avait appris qu'il est extraordinairement difficile, sinon peut-être impossible, d'obtenir dans ces conditions une végétation véritablement normale d'une plante, depuis la germination jusqu'à la maturité. D'un autre côté, nous espérions arriver encore à des résultats utiles, si nous parvenions à préserver la plante, mise en observation, de l'invasion accidentelle des germes micro-organiques dans la principale phase de la végétation et jusqu'au moment où le développement serait le plus avancé possible.

Il nous est arrivé, ce que nous pensions, sur ces deux points, et nous ne trouvons aucun sujet d'inquiétude dans les contradictions constatées dans nos expériences sur les pois. Notre opinion est qu'on y voit au contraire la confirmation des assertions exprimées au commencement de ce chapitre.

La production des algues et des mousses a eu dans nos expériences le caractère suivant :

Dans les vases qui n'étaient ni stérilisés, ni couverts de ouate (mais en particulier dans ceux qui avaient reçu une infusion de terre), une végétation cryptogamique de couleur verte apparut toujours après un temps relativement court, non seulement à la superficie de la terre, mais aussi entre le sol et la paroi intérieure du vase et descendit aussi loin que pénétrait la lumière, c'est-à-dire, dans certains cas, jusqu'au fond.

Nous avons déjà dit que leur présence n'opéra aucun changement dans les plantes phanérogames, et que celles-ci, dès que le sol ne recevait pas de nitrate, périrent sans avoir fourni de production appréciable et sans avoir assimilé d'azote.

Les vases stérilisés et couverts de ouate restèrent affranchis de cette végétation pendant des semaines et même des mois, mais, cette période dépassée, il se montra çà et là à la superficie, parfois même plus profondément sur les parois latérales du vase, des colonnes isolées d'algues vertes, qui, avec le temps, s'étendaient encore. Que, dans ce cas, avec les algues aient volé des germes de champignons, etc., cela peut être et cela fut en effet, on le comprend. Nous n'avons observé nulle part l'influence de cette importation accidentelle sur la croissance des légumineuses, en 1886 et 1887, relativement aux lupins et à la serradelle, mais sur les pois elle fut remarquable et se manifesta en leur faisant donner tout à coup des pousses latérales, dont la végétation active produisit des fleurs et des fruits en un temps où les fruits et les pousses plus anciennes mûrissaient déjà pour la plupart, ce qui rendit la récolte anormale, en la retardant.

On se voit forcé malgré soi de reconnaître qu'il existe un rapport étroit entre ce phénomène et ces deux autres observations, si souvent rappelées, que les pois dans un sol privé d'azote, et non protégé par une enveloppe, à côté d'une croissance très inégale, ont montré fréquemment une végétation magnifique, liée à une assimilation d'azote très active, et que, d'autre part, une infusion de terre à betteraves de nos environs exerçait sur le développement des pois une influence très frappante, tandis qu'elle se révélait sans effet aucun sur les lupins et la serradelle.

Nous n'apercevons, en effet, dans ces trois phénomènes que l'ac-

tion d'une cause unique, et nous croyons qu'on peut l'expliquer très simplement de la façon suivante :

S'il est vrai, ce que nos recherches s'accordent toutes à démontrer, que la végétation des légumineuses dans un sol, qui est pauvre en azote ou qui en est dépourvu, doit être attribuée à une symbiose avec des espèces déterminées de champignons inférieurs, on admettra, sans aucune difficulté, que ces cryptogames se propagent dans tous les sols cultivés sans exception, mais en quantités qui varient avec les différentes espèces de sols, et que ceux de ces organismes, par exemple, qui sont en rapports plus étroits avec les lupins et la serradelle, ont été offerts très parcimonieusement aux plantes dans la terre marno-lehmeuse de nos environs, que nous avons employée pour l'infusion, et très abondamment dans la terre sableuse, tirée d'ailleurs. Mais cette différence ne vient pas de ce que l'un est un sol sableux, l'autre un sol lehmeux, elle vient simplement de ce que nous avions pris la terre sableuse à un champ qui avait porté des lupins, tandis que la terre lehmeuse venait d'un champ à betteraves qui n'avait jamais porté ni lupins, ni serradelles, c'est-à-dire de plantes nourricières des champignons dont il est question.

Ces faits nous semblent assez concluants pour qu'apparaisse, simple et claire, la cause pour laquelle une faible dose d'infusion de terre sableuse, mais non de terre lehmeuse, rendît possible le développement normal des lupins et de la serradelle, dans notre sable quartzeux. Ils expliquent encore comment, dans nos expériences à l'air libre et dans un milieu où le pois, avec les diverses variétés de trèfles, est la seule plante qui soit fréquemment cultivée, ce sont justement les pois qui se sont signalés par une bonne végétation et une assimilation importante de l'azote dans des vases non couverts, souvent même sans infusion terreuse ; enfin ces faits montrent pourquoi il nous est arrivé d'obtenir dans le sens voulu par l'expérience, même avec des procédés imparfaits, la stérilisation des vases pour la serradelle et les lupins, mais non pour les pois.

XIV.

Dans la communication que j'ai faite, à l'occasion de la 59e assemblée des naturalistes allemands, j'avais indiqué en dernier lieu que,

suivant mon opinion, « l'organe qu'on appelle les tubérosités des légumineuses est en relation directe avec l'assimilation de l'azote ».

Ce jugement fut attaqué de toutes parts et on nous a reproché de confondre la cause avec l'effet sans tenir compte des faits connus. Nous croyons donc utile d'exposer encore une fois rapidement les motifs qui nous ont inspiré cette manière de voir et de chercher si elle ne peut pas se justifier.

Les tubérosités des légumineuses ont déjà été tant étudiées qu'on peut presque dire qu'elles ont leur littérature propre, mais il n'a pas encore été donné jusqu'ici d'explication définitive sur ces formations énigmatiques.

Les petits corpuscules qui se rencontrent dans les cellules du parenchyme intérieur des tubérosités radicales, ont été longtemps considérés sans conteste comme des champignons. Brunchorst, Tschirch et Frank plus tard les ont conçus comme « des corps albumineux se liant à la vie même de la plante » ; et dans ces derniers temps, Lundstroem et Marshall Ward ont affirmé de nouveau qu'ils étaient bien de la nature des champignons[1].

Si les botanistes sont loin d'être unanimes sur les caractères essentiels des tubérosités, les avis ne sont pas moins divisés sur leurs fonctions.

Après avoir longtemps regardé ces protubérances comme des formations pathogènes, comme des galles, l'opinion s'est peu à peu répandue qu'elles sont des créations normales intimement liées à l'économie des plantes.

C'est ainsi que Nobbe[2] les « appelle des organes destinés à emmagasiner les aliments azotés ». De Vries[3] cherche leur fonction capitale dans la faculté qu'ils ont de saisir les traces les plus faibles d'aliments azotés à l'état inorganique et de les convertir en combinaisons organiques. Schindler[4] admet « qu'un rapport existe entre

1. Vuillemin et Prazowski ont émis la même opinion, à ce que j'apprends au moment où je corrige l'épreuve de ce passage.

2. *Die landw. Versuchsstationen*, vol. X, p. 99.

3. *Landw. Jahrbücher*, vol. VI, p. 935.

4. *Botan. Centralblatt*, vol. XVIII, p. 84, et *Journal für Landwirthschaft*, Jahrg. XXXIII, p. 334.

l'assimilation de l'azote par les légumineuses et leurs tubérosités, qui, par leur présence, jouent dans la production du fruit en tant que collecteur d'azote, un rôle de haute importance et jusqu'ici inexpliqué. »

Brunchorst[1] arrive à conclure que « les tubérosités sont dans les « légumineuses des organes normaux, importants pour la nutrition « et que les *bactéroïdes* sont des productions normales du plasma « cellulaire, qui concourent aux fonctions de ces protubérances, « puisque leur action est analogue à celle d'un ferment organisé, « formé de véritables organismes ». Il tient pour vraisemblable que les légumineuses ont dans leurs tubérosités des organes qui leur donnent, mieux qu'aux autres plantes, la faculté d'utiliser n'importe quelle matière organique azotée du sol, mais il incline à regarder comme étant sans fonctions les protubérances naissant dans les solutions nutritives ne renfermant que des traces de matières organiques ou n'en contenant pas. Tschirch[2] pense que les tubérosités sont « des magasins de réserve momentanée » et il croit à ce sujet que dans leur prévoyance excessive les plantes y accumulent parfois un peu plus d'approvisionnement qu'il ne leur en faudrait. Frank[3] les a signalées comme « des organes qui se pourvoient de matières azotées « tirées du sol », et il conclut en disant, qu'au point de vue de l'azote nécessaire à la nutrition des plantes elles ne peuvent jouer aucun rôle indispensable.

Ainsi la moitié des auteurs regarde les tubérosités comme des greniers d'abondance, l'autre moitié comme des organes d'assimilation; ou, en d'autres termes, les uns considèrent cette formation tubéreuse dans les légumineuses comme la conséquence, les autres comme la cause effective de la croissance des plantes.

Certainement il n'appartient qu'aux botanistes de décider en dernier ressort de quelle nature est en réalité le contenu des tubérosités, si c'est ou non un champignon et quel est ce champignon.

Mais comme conséquence des recherches faites par nous sur les légumineuses qui, croissant dans des conditions fort différentes, ont

1. *Ber. d. Deutschen botan. Gesellsch.*, Jahrg. III, p. 256-257.

2. *Ber. d. Deutschen botan. Gesellsch.*, Jahrg. V, p. 89.

3. *Deutsche landw. Presse*, Jahrg. XIII, p. 630, et *Landw. Jahrbücher*, vol XVII, p. 517.

passé en grand nombre par nos mains, nous n'avons pu éviter, en réunissant nos connaissances acquises aux observations qui nous étaient fournies de divers côtés, de nous former une opinion personnelle sur la production et la fonction de ces protubérances. Il nous sera donc permis d'ajouter en quelques mots ce qu'à l'occasion nous avons remarqué nous-même.

La production des tubérosités n'est pas la même dans un sol stérilisé que dans un sol qui ne l'est pas; elle n'est pas la même dans un milieu renfermant de l'azote que dans celui dont l'azote est absent. En envisageant séparément chacun de ces cas, comme c'est absolument nécessaire, nous avons constaté les faits suivants :

1° Cultivées, en milieu stérilisé et maintenu tel, dans notre sable dépourvu d'azote ou à peu près, les légumineuses, n'ont montré, sans exception, aucune tubérosité radicale : aussi, dans ces conditions, les plantes en général ne croissaient pas et n'assimilaient point d'azote ou n'en assimilaient qu'en quantité minime.

2° Dans un sol non stérilisé, et privé d'azote, la production de tubérosités nombreuses et bien conformées put être constatée régulièrement sur les racines des légumineuses, en même temps que marchaient, avec un ensemble parfait, une végétation active et une assimilation énergique de l'azote.

3° Dans un sol stérilisé, ayant reçu de l'azote par addition de nitrate, les plantes se sont développées; mais dans tout un réseau de racines bien formées, on n'a pu découvrir une seule petite nodosité et aucun gain d'azote ne fut constaté pendant la végétation.

4° Dans un sol non stérilisé et renfermant de l'azote, on constata la formation de protubérances plus ou moins nombreuses avec une végétation parfaite et un gain d'azote constant.

Nous nous bornerons à reproduire, comme exemple, ce que nous avons constaté au moment de la récolte dans nos cultures de serradelle, faites en 1887.

NUMÉROS des vases.	AZOTE donné à l'état de nitrate.	SUBSTANCE SÈCHE fournie par la plante entière.	GAIN D'AZOTE pendant la végétation.	TUBÉROSITÉS FORMÉES SUR LES RACINES.
	Gr.	Gr.	Gr.	
				a) *En sable stérilisé sans addition d'azote.*
242	—	0,092	+ 0,000	Point.
243	—	0,063	+ 0,000	Point.
246	—	0,081	+ 0,000	Point.
247	—	0,109	+ 0,000	Point.
266	—	0,135	+ 0,000	Point.
267	—	0,092	+ 0,000	Point.
				b) *En sable pourvu d'infusion de terre sans addition d'azote.*
244	—	16,864	+ 0,348	Nombreuses tubérosités grosses et petites, anciennes et récentes sur les racines de tout ordre : les grosses protubérances se trouvent particulièrement sur les racines principales ; beaucoup sont déjà vides.
245	—	18,199	+ 0,395	Comme au n° 244, un peu plus nombreuses et plus fortes peut-être.
248	—	11,686	+ 0,352	Tubérosités nombreuses ; un peu plus d'anciennes que de jeunes.
249	—	16,411	+ 0,443	Comme au numéro précédent.
250	—	12,530	+ 0,249	Id.
251	—	9,409	+ 0,202	Id.
268	—	17,370	+ 0,386	Beaucoup de grosses protubérances encore fermes et pleines pour la plupart ; d'autres nombreuses et récentes sur les racines d'ordre inférieur.
269	—	13,491	+ 0,287	Comme au numéro précédent.
				Ont fait exception à la règle :
252	—	0,075	+ 0,000	Point.
253	—	0,055	+ 0,000	Point.
				c) *En sable stérilisé, avec addition de nitrate.*
262	0,007	0,209	— 0,005	Point.
263	0,007	0,272	— 0,001	Point.
264	0,007	0,316	+ 0,000	Point.
265	0,007	0,297	+ 0,000	Point.
254	0,056	2,838	— 0,028	Point.
255	0,056	2,927	— 0,027	Point.
256	0,112	6,223	— 0,042	Point.
257	0,112	6,858	— 0,042	Point.
270	0,112	6,077	— 0,042	Point.
271	0,112	6,837	— 0,046	Point.
				d) *En sol pourvu d'infusion de terre avec addition de nitrate.*
258	0,056	11,936	+ 0,127	Tubérosités nombreuses, dont beaucoup d'anciennes et une partie déjà vidée.
259	0,056	15,324	+ 0,191	Comme au n° précédent, mais moins de vieilles protubérances.
260	0,112	11,037	+ 0,064	Anciennes tubérosités, assez nombreuses, mais presque toutes encore fermes ; deux ou trois seulement commencent à s'amollir ; d'autre part, grande quantité de protubérances toutes petites sur le jeune chevelu.
261	0,112	17,077	+ 0,205	Semblable sous tous les rapports au numéro qui précède.

Ces résultats confirment premièrement ce qui a trait à la production des tubérosités propres aux légumineuses, car, entre la plupart des observations communiquées par d'autres auteurs et celles que nous avons faites, nous ne trouvons aucune contradiction de principe. Ils permettent, en outre, ce que beaucoup de ceux-ci ne font pas, de mettre en regard en toute circonstance la façon dont les plantes se comportent dans l'assimilation de l'azote et la production des tubérosités, ce qui nous autorise, à ce qu'il me semble, à tirer de nos expériences de plus larges conclusions.

En jetant les yeux sur le tableau qui précède, je n'y vois rien qui soit favorable à l'opinion de ceux qui regardent ces protubérances comme de simples magasins de réserve pour les aliments azotés.

Cette opinion s'appuie principalement sur ce fait, que le contenu azoté des cellules tubéreuses se vide au moment de la floraison et de la fructification; mais ne partagent-elles pas plus ou moins ce sort avec les feuilles et les racines qu'on peut, à un certain point de vue, regarder encore comme des organes emmagasineurs passagers et qu'on doit sans aucun doute considérer dans leurs fonctions principales comme des organes d'assimilation? Elle se fonde encore sur ceci que les tubérosités se montrent en plus grande abondance et plus régulièrement dans un sol dépourvu d'azote ou pauvre en azote, tandis qu'elles ne se développent que faiblement, souvent même manquent complètement dans un milieu richement azoté.

J'avoue qu'en tout temps il m'a été difficile de comprendre qu'une plante déposât justement dans un magasin de réserve l'aliment, dont l'absence la fait souffrir, plutôt que de l'absorber directement; mais il m'est plus difficile encore d'admettre qu'elle s'en abstienne, quand cet aliment se trouve à sa disposition en abondance et que, l'emmagasinant seulement parce qu'elle sent, pour ainsi dire, que vers la fin de la végétation le besoin d'un plus large approvisionnement deviendra de nouveau pressant, elle amasse en prévision de cette éventualité une fois plus d'aliment qu'il ne lui en faut, ce qui serait tout au moins une précaution inutile.

Nulle part cette prévoyance n'a laissé de traces dans les expériences que nous avons rapportées.

Et d'abord nous demandons pourquoi les deux numéros 252 et

253 n'ont formé aucune protubérance radicale, tandis que les numéros 244 et 245, 248-251 et 268 en ont abondamment montré sur leurs racines de tout ordre. Les plantes des deux premiers numéros étaient dans le même milieu dépourvu d'azote que les sept derniers, tous avaient reçu le même mélange nutritif non azoté et la même quantité d'infusion de terre. A tous était ainsi offert le même fonds où ils pouvaient puiser pour emmagasiner la provision d'aliments azotés nécessaire à la période de fructification. Il n'y avait qu'une seule différence : l'infusion de terre, donnée aux numéros 252 et 253, avait été préparée avec un sol lehmeux et celle qu'avaient reçue les autres numéros, l'avait été avec un sol sableux.

On pourrait répondre que les numéros 252 et 253, surtout n'ayant pas poussé, n'avaient pu acquérir la faculté d'emmagasiner un approvisionnement.

Eh bien, soit ! Mais alors nous demanderons pourquoi il ne s'était formé non plus aucune tubérosité dans les numéros 262-265, 254-257 et 270-271, alors que les numéros 258-261 en avaient développé de nombreuses et bien conformées.

Les plantes de tous ces numéros végétaient dans un sol, auquel on avait incorporé une certaine quantité de nitrate, les conditions de culture, la teneur en azote du sol étaient absolument semblables dans les numéros 254-257 (même 270, 271) et dans les numéros 258-261 : une seule différence existait entre eux, c'est que les derniers avaient reçu une infusion de terre, qui n'avait pas été donnée aux premiers.

Ici les plantes, après avoir végété plus ou moins longtemps et être parvenues à fournir une production très convenable, avaient encore la possibilité et le temps voulu pour se constituer une réserve selon leur gré et leurs besoins. D'autre part, rien ne manquait pour les pousser sérieusement dans cette voie, car le sol, sans être dépourvu d'azote, en était précisément pauvre ; qu'on réfléchisse que sur 4 kilogr. de sable, on donna sous forme de nitrate :

AUX NUMÉROS.	AZOTE	
	Gr.	Soit par 1000 de sable.
—	—	—
262 — 265	0,007	0,0018
254 — 255 258 — 259	0,056	0,014
256 — 257 270 — 271 259 — 260	0,112	0,028

et que les serradelles, dès le début, se trouvèrent sans exception en présence d'une insuffisance relative d'azote dans leur solution nutritive, telle que celle-ci ne pouvait suffire à des besoins normaux.

Certainement, les observations que nous avons communiquées ici ne disent pas, qu'au point de vue de l'assimilation, les tubérosités radicales sont uniquement pour la plante des déservoirs réguliers, dont la destination bien déterminée serait d'emmagasiner pendant un plus long temps les aliments azotés, destinés à permettre la fructification. Elles s'accordent bien mieux avec l'opinion que ces tubérosités sont des organes d'assimilation de la plante.

Quoi qu'il en soit, ces observations permettent les conclusions suivantes :

a) La formation des tubérosités et la croissance des plantes n'ont pas été dans une dépendance absolue l'une de l'autre. Les plantes ont pu croître normalement, fleurir et même porter des fruits, sans qu'il existât de protubérances radicales. (Ex. n°s 254-257).

b) La formation des tubérosités ne s'est pas montrée dépendante, en général, de l'assimilation de l'azote par les plantes. Les plantes ont pu en effet absorber les nitrates, qui étaient mis à leur disposition dans le sol et les utiliser, qu'il se formât ou non des protubérances radicales. (Ex. n°s 254-257 et 258-261.)

c) La formation des tubérosités s'est rencontrée partout, mais uniquement quand on additionnait notre sable, préalablement stérilisé, d'une infusion récente de terre sableuse cultivée. Elle n'avait pas lieu quand l'infusion avait été portée à l'ébullition, ou quand on se servait d'une infusion faite avec une autre terre lehmeuse déterminée. (Ex. tous les vases d'essai.) Après les différents points que j'ai établis dans les chapitres précédents, je crois même pouvoir énoncer

cette proposition de la façon suivante : La formation des tubérosités a dépendu de la présence, dans le sol, d'un ferment organisé actif.

d) La formation des tubérosités a été constamment accompagnée d'un gain d'azote, fait par la plante pendant la végétation, gain qu'on ne pouvait attribuer à la teneur primitive du sol en azote, au début de l'expérience. — Chaque numéro de nos séries d'études peut aussi servir d'exemple à ce sujet. Mais les numéros 254-257, d'un côté, et les numéros 258-261, de l'autre, offrent encore ici un intérêt particulier. Les plantes de ces huit vases, toutes placées dans un milieu renfermant de l'azote, végétèrent d'abord normalement et pendant longtemps avec une complète uniformité ; mais dans les quatre premiers vases, qui n'avaient pas reçu d'infusion terreuse, les plantes ne formèrent aucune protubérance sur leurs racines ; elles cessèrent de croître à un moment déterminé et leur production, se maintenant dans une relation incontestable avec la quantité de nitrate existant dans le sol, l'on ne pût constater dans les produits récoltés aucun gain d'azote provenant d'une autre source. Dans les quatre derniers numéros au contraire, la végétation se prolongea plus longtemps et fut plus énergique ; les plantes y formèrent toutes, sans exception, des tubérosités ; la quantité de substance sèche produite ne fut pas du tout en rapport étroit avec la teneur du sol en nitrate et l'analyse y décela notablement plus d'azote qu'il n'en avait été fourni à chacune d'elles.

La parfaite concordance de nos propres expériences, sans en excepter aucune, nous commande cette conclusion et nous ne trouvons même dans les communications des autres auteurs sur la production des tubérosités rien qui la contredise, pas même, par exemple, l'expérience décrite par Frank dans les *Landw. Jahrbücher* (vol. XVII, p. 516).

Frank a rempli huit vases d'une terre de jardin contenant de l'humus : il en a placé la moitié dans l'appareil stérilisateur où il les a portés pendant cinq ou six heures à la température d'ébullition, puis il a ensemencé les huit vases d'une graine de lupin chacun. Les lupins ont commencé à croître dans tous les vases, mais se sont beaucoup mieux développés dans ceux qu'il avait stérilisés que dans ceux qui ne l'étaient pas. Le poids total de la récolte est monté à 55 gram-

mes pour les premiers et n'a été que de 15g,5 pour les derniers. Les racines des cultures stérilisées étaient absolument dépourvues de protubérances, tandis que dans les vases non stérilisés toutes les plantes en étaient pourvues de grosseur plus ou moins considérable.

Frank conclut de là que les protubérances radicales ne sont pas indispensables aux lupins pour parvenir à un développement complet et à la production normale du fruit. Elles ne peuvent donc pas, selon lui, jouer un rôle important dans la nutrition azotée des plantes et rien ne nous autorise à chercher dans les tubérosités des racines le siège de la faculté qu'ont les légumineuses de s'enrichir en azote.

C'est beaucoup conclure d'une telle expérience et on nous pardonnera de ne pas nous ranger sans discussion à l'opinion de Frank.

Frank ne dit à peu près rien de la nature et de la teneur du sol, dont il s'est servi, non plus que des autres conditions de l'expérience ; mais il nous est au moins acquis qu'il a employé « un sable de jardin humique », c'est-à-dire des matériaux qui, indubitablement, renfermaient de l'azote.

Que les lupins, comme d'autres légumineuses, puissent croître dans un sol contenant de l'azote, sans former de tubérosités sur leurs racines, le fait, autant que je le sache, n'a jamais été contesté par personne ni par nous-même. Nous avons seulement toujours affirmé et nous affirmons encore que la production des protubérances radicales chez les légumineuses est dans une dépendance certaine, quoiqu'elle n'ait pas été expliquée jusqu'ici, de la faculté qu'ont ces plantes de s'approprier de l'azote, en le puisant à une source autre que celle qui leur est offerte par les nitrates et par les autres combinaisons azotées assimilables que renferme le sol.

La végétation relativement belle des lupins dépourvus de tubérosités dans les vases stérilisés n'est pas en contradiction très sérieuse avec notre manière de voir, pas plus que ne prouve, contre nous, la façon dont les plantes se sont comportées dans les vases qui n'avaient pas été stérilisés.

Ceux-ci, il est vrai, n'ont pas mieux crû que ceux-là, quoiqu'ils fussent tous pourvus de protubérances radicales de grosseurs différentes ; mais, et c'est là un point aussi saillant que digne d'attention, non seulement ils n'ont pas aussi bien végété, mais ils ont végété

plus mal, beaucoup plus mal. La production moyenne, se montant à 3g,9 pour un vase de la dimension de ceux dont Frank s'est servi (22 cm. de hauteur et 17 cm. de largeur à la partie supérieure), démontre que la végétation était restée rabougrie.

Que conclure de là, sinon, de deux choses l'une : Ou la production des tubérosités a eu un effet direct et désastreux sur la croissance des lupins, ou le sol qu'a employé Frank pour ses expériences ne pouvait, pour une cause inconnue, convenir à la végétation de cette plante, et cette cause enrayante s'était trouvée simplement écartée par le passage à l'étuve.

Toute la vraisemblance qui s'attache à cette dernière opinion dans le cas qui nous occupe, Fleischer et d'autres l'ont fait remarquer lors de la 59e assemblée des médecins et des naturalistes allemands et Frank lui-même conclut ainsi.

Quant au fait, que les lupins, placés dans un sol, qui présente à leur végétation un obstacle inconnu, ne puissent ou ne veuillent pas se développer, quand même des tubérosités existeraient sur leurs racines, nous ne l'avons jamais combattu et jamais nous n'avons soutenu le contraire.

Enfin, je n'ai pu apercevoir dans l'expérience de Frank aucune démonstration précise qui s'oppose au rapport existant, suivant nous, entre la formation des protubérances et l'assimilation de l'azote par les légumineuses, non plus qu'à l'influence qu'elles exercent, dans la pratique, sur l'accumulation de l'azote dans ces végétaux.

Les observations faites de divers côtés me paraissent tout aussi peu réfuter notre opinion, même celles de Rautenberg et de Kühn, constatant que les légumineuses élevées dans l'eau étaient richement pourvues de tubérosités et néanmoins n'ont révélé aucun gain d'azote.

La possession d'organes d'assimilation normalement développés ne conduit pas seule et nécessairement à une belle végétation : de même qu'une jeune plante, portât-elle des feuilles et des racines bien formées, peut encore mourir d'inanition sous l'influence d'une foule de causes défavorables, de même aussi les tubérosités radicales les mieux développées peuvent être entravées dans leurs fonctions par des causes analogues qui se rencontrent justement dans la culture dans l'eau.

Il est indiscutable que les nodosités des racines, plongées dans une solution nutritive aqueuse, c'est du moins notre avis, se trouvent au point de vue de l'assimilation de l'azote placées dans des conditions toutes différentes de celles qui leur sont offertes dans un sol bien aéré, et qu'elles sont en ce cas dans une situation très défavorable. On pourrait même aller plus loin, en se demandant si la culture dans l'eau n'annule pas nécessairement, dans certaines conditions, les fonctions des tubérosités.

Nous pensons après cela avoir le droit de nous en tenir à notre affirmation que la fonction de ces tubérosités est en rapport déterminé avec la faculté qu'ont les légumineuses de puiser l'azote à une source complètement indépendante du sol, et de nombreuses raisons nous permettent en outre d'affirmer qu'il y a là un rapport de cause à effet.

Il nous suffira peut-être de citer une unique observation et une démonstration expérimentale.

D'autres auteurs en traitant ce sujet ont déjà fait remarquer que la formation des protubérances radicales se produit bien souvent chez les légumineuses dans un stade de développement de la plante où le dépôt d'une réserve alimentaire ne paraît pas admissible. Pour nous, nous ajoutons que la formation de ces protubérances arrive même, comme nous avons eu maintes occasions de l'observer, dans la période d'inanition la mieux prononcée et que le développement de la plante suit immédiatement leur naissance.

Il est indispensable d'expliquer avec plus de détails ce que nous entendons par « état d'inanition ».

Dans la description d'une expérience, où Frank examinant ce point en détail, établit que le lupin, dans la première période de sa végétation, concentre toute son activité sur la formation des organes radicaux et ne développe que beaucoup plus tard sa partie aérienne; il fait remarquer que : « l'agriculteur connaît ce temps d'arrêt du « lupin jaune dans les huit premières semaines, qui suivent la ger- « mination et lui donne le nom de *période d'inanition*[1]. »

Malgré mes nombreuses et anciennes relations avec les agricul-

---

1. *Landw. Jahrbücher*, v. XVII, p. 544.

teurs, cette désignation n'a jamais frappé mon oreille dans le sens indiqué ici. Je déclare expressément néanmoins, pour éviter tout malentendu, que le fait est généralement connu, non comme se manifestant sur les lupins seuls, mais aussi sur les autres plantes et à un degré plus ou moins fort sur tous les végétaux de la grande culture ; mais ce phénomène toujours normal n'est pas naturellement ce que nous appelons l'état d'inanition.

L'état que nous entendons par ce mot se révèle très nettement et très précisément par les caractères suivants :

Chez la plante végétant dans des conditions favorables, dans un sol suffisamment pourvu de toutes les substances nutritives indispensables, on constate aisément trois périodes physiologiques différentes, que nous pouvons appeler : germination, croissance et maturité.

Dans la première période, la plante développe ses organes aériens comme ses organes souterrains autant que le lui permet la réserve alimentaire mise à sa disposition dans la semence, et de la grosseur ainsi que de la teneur de celle-ci dépend la durée de cette réserve.

Dans la seconde période commence une assimilation active d'aliments empruntés au milieu extérieur, période qui a pour résultat un large accroissement de tous les organes ; chaque feuille qui naît se développe plus grande et plus vigoureuse que ne l'était la précédente ; la masse principale de la plante se forme dans cette période.

Dans la troisième, où apparaissent les organes de la fructification, l'assimilation des aliments extérieurs diminue peu à peu et finit par s'arrêter tout à fait ; les feuilles, s'il en naît encore, redeviennent plus petites, les anciennes commencent à se décolorer ; leurs cellules se vident l'une après l'autre, résorbées au profit du fruit naissant, enfin elles se dessèchent complètement et la plante mûrit.

Ces trois périodes ne se succèdent naturellement pas sans transition et c'est graduellement que la vie végétale passe de l'une à l'autre.

Si les plantes se trouvent dans un sol qui non seulement contient les aliments nécessaires en quantité suffisante, mais en renferme en excès, elles se comportent alors tout autrement dans la troisième période ; l'assimilation des substances extérieures se prolonge, ainsi

que la résorption de celles qui sont contenues dans les feuilles, la tige et les organes de la fleur, à tel point que la troisième période de développement d'une plante à croissance normale peut être considérée comme n'ayant pas lieu; car la maturité n'arrive jamais. C'est ainsi qu'on remarquera, par exemple, que sur une orge, végétant dans ces conditions, quoique dans les épis les graines bien développées soient fermes, d'un bon volume et se colorent entièrement de jaune, à cet instant, non seulement toutes les pousses, toutes les feuilles, mais encore les barbes qui couronnent ces grains, mûrs en apparence, demeurent d'un vert plein de sève, et sur le pied se montrent de jeunes pousses latérales. (V. en 1884 les vases n°s 15 et 16. — *Digénie des blés de mars.* — *Orge de brasserie défectueuse. Betterave sucrière à mauvais quotient.*)

Si le sol dans lequel végète une plante est insuffisamment pourvu d'aliments nutritifs, la seconde période, celle d'assimilation, s'écartant des règles de la nature, se raccourcit, et la quantité de substance produite par la plante reste au-dessous de la proportion normale.

Mais, si aucune substance alimentaire ne se rencontre dans le sol, ou s'il manque seulement une des substances qui sont indispensables à la plante, alors la seconde période de végétation fait complètement défaut et la troisième période suit immédiatement la première.

Voici comment vit une plante placée dans un sol dépourvu d'azote, stérilisé et maintenu en état de stérilisation :

La période de germination n'offre rien d'anormal et s'accomplit exactement comme si les conditions du sol étaient favorables. Mais dès que les substances en réserve dans la semence sont épuisées, un arrêt manifeste de la végétation se montre. Quelque temps après, la chlorophylle subit une transformation, la décoloration des feuilles gagne des plus vieilles aux plus jeunes et ce fait se produit d'une façon très caractéristique pour chaque variété de plantes. Dans les pois, par exemple, les feuilles, les pétioles et les tiges deviennent jaunes ; dans la serradelle les pétioles se colorent de rouge carmin et les folioles jaunissent, chez les lupins, les cotylédons et les pétioles prennent une teinte sombre, brun rougeâtre, tandis que les folioles se tachent de rouille, et ainsi de suite ; seule la feuille supérieure,

la plus jeune, conserve plus ou moins sa couleur verte. La plante ne meurt pas entièrement, elle pousse même de temps en temps encore de nouveaux organes ; mais chaque fois le dernier né est considérablement plus petit que le précédent. Quant à la matière dont ils se forment, la source en est bien claire, car chaque fois qu'un organe nouveau paraît au jour, une ou deux des feuilles les plus anciennes se dessèchent épuisées. Le temps que les plantes mettent à supporter cette sorte d'existence et à la prolonger dépend de la nature et de la composition du grain de semence. Les unes ne vivent que des semaines, d'autres des mois, mais généralement leur vie se prolonge aussi longtemps que celle des plantes de leur espèce végétant dans des conditions normales. Quelques-unes ne parviennent qu'à produire quelques petites feuilles, d'autres arrivent à former leurs fleurs, certaines même à porter des fruits. Le résultat final est naturellement la production d'un avorton bizarre, et l'on éprouve une impression comique, quand on voit fleurir un pied de chanvre qui, avec sa tige de la grosseur d'un fil, ses feuilles de quelques millimètres carrés, s'élève au grand maximum à 3 ou 4 centimètres de hauteur, ou un plant de colza qui porte des fruits et dont le sommet est couronné d'une silique en miniature, plus grande néanmoins que la plante tout entière.

Nous appelons « état d'inanition » celui dans lequel se trouve un végétal, quand la période normale d'assimilation lui fait défaut, et nous le désignons sous le nom d' « *état d'inanition azotique* », s'il résulte d'un manque absolu, dans le sol, de combinaisons azotées assimilables.

Nous avons montré, par nos expériences, qu'une faible dose d'infusion faite avec un sol cultivé est sans aucune action sur les céréales végétant dans un milieu stérilisé et dépourvu d'azote ; mais qu'elle peut influer à un très haut degré sur la végétation des légumineuses et nous avons déjà signalé ce qu'a de remarquable la façon, dont se manifeste cette influence. Nous allons maintenant compléter ces indications au moyen de quelques corollaires.

Quoique nous ayons toujours incorporé l'extrait de terre, en même temps que la solution nutritive, dès le début de l'expérience et avant tout ensemencement du sol sur lequel nous expérimentions, son in-

fluence ne s'est jamais révélée au commencement de la végétation. La période de germination normalement accomplie, les plantes qui avaient été pourvues de cette infusion entraient, au contraire, sans exception dans la phase d'inanition, précédemment décrite, exactement de la même façon que celles qui n'en avaient pas reçu, c'est-à-dire que la décoloration caractéristique des organes apparaissait en même temps que l'arrêt subit de la végétation. De la nature de la plante, de la composition de l'extrait, de sa quantité, de la température, etc., dépendait la prolongation de cet état pendant quelques jours seulement, ou pendant des semaines[1]. Dans ce dernier cas, la constitution rabougrie, dont nous avons parlé, apparaissait comme conséquence de cette durée et les vieilles feuilles, acquises dans la période de germination, périssaient toutes.

C'est alors et presque immédiatement que se fit sentir tout à coup l'influence de l'infusion terreuse; tous les organes décolorés qui n'étaient pas encore complètement secs, comme les cotylédons des lupins, reprirent la teinte verte naturelle à la chlorophylle et donnèrent le signal de l'entrée de la plante dans la période normale d'assimilation. Une nouvelle émission de feuilles suivit rapidement et chacune d'elles en se développant était plus vigoureuse et plus large que celle qui l'avait précédée; la tige non seulement gagnait en longueur, mais en même temps s'épaississait. Dans beaucoup de sujets, la tige principale péniblement formée dans la période d'inanition fut régulièrement délaissée et à sa place, en quelque sorte, poussa, de l'axe d'une feuille, un bourgeon latéral, qui dès sa sortie se présentait déjà très fort et auquel succédaient rapidement un second et un troisième bourgeon de plus en plus vigoureux. Ce passage de l'état d'inanition

1. Plus la semence est grosse dans une légumineuse, plus la réserve alimentaire qu'elle peut offrir, est abondante, et par conséquent plus longue est la période de germination; l'état d'inanition se montre alors naturellement d'autant plus tard et sa durée est aussi plus courte. Il peut même passer inaperçu ou être complètement évité, si à ce moment on donne une forte dose d'un extrait de terre très énergique. Une infusion, par exemple, préparée avec une terre fraîchement prise dans un champ, a toujours une action plus rapide et plus forte que celle qu'on tire d'une terre au repos depuis longtemps, il suffit même, comme nous l'ont appris des essais dont nous parlerons plus tard, qu'on ait laissé la terre se dessécher à l'air pour entraver remarquablement l'action de l'infusion, sinon pour la détruire complètement.

à la phase de la croissance fut si nettement marqué par toutes les manifestations de la plante, qu'un œil exercé pouvait en constater le commencement à jour fixe.

Il importe maintenant au but que nous nous sommes proposé, de constater que chez les plantes placées dans de bonnes conditions, la formation des tubérosités, comme nous avons eu tant de fois l'occasion de le vérifier, se produit dans la période d'inanition, c'est-à-dire avant le commencement de l'assimilation et de la croissance, et d'une façon certaine avant la réapparition de la teinte verte chez les organes décolorés. Nous avons examiné à ce point de vue de nombreux exemplaires de jeunes pois, de serradelle et de lupin et nous avons trouvé pendant la période de germination, comme dans les premiers temps de l'état d'inanition, leurs racines constamment exemptes de toute protubérance; mais dès qu'une trace de verdure apparaissait, ou, si l'inanition durait plus longtemps, dans les derniers temps d'arrêt produits par elle, les racines, sans exception en quelque sorte, se montraient pourvues de tubérosités déja bien formées avant tout reverdissement.

Différents observateurs, nous l'avons dit, voient surtout dans la naissance des protubérances radicales aux premiers jours de l'existence des plantes se trouvant dans des conditions normales, une preuve que ces organes ne sont pas des magasins de réserve ; à plus forte raison alors comment s'imaginer que, végétant dans les conditions anormales précédemment décrites, une plante dont non seulement la production est entravée par le défaut absolu d'aliments, mais qui ne peut même prolonger sa vie, forcée qu'elle est de dévorer ses propres organes d'assimilation qui lui sont le plus indispensables, aille s'ingénier à amasser une réserve alimentaire pour des temps futurs ?

L'expérience suivante nous semble donner les mêmes enseignements.

En 1887, un très grand nombre de graines de pois avaient été semées dans une grande coupe de verre, remplie d'un sable stérilisé, qui n'avait été mouillé qu'avec de l'eau distillée; puis, quand quelques feuilles se furent développées, on lava les grains avec soin et on choisit parmi eux certains exemplaires qui, au lieu d'une racine pivotante, avaient formé deux racines secondaires vigoureuses.

Parmi celles-ci, il se rencontra quatre jeunes plantes, dont les racines partagées en deux parties, à peu près également développées, formaient des systèmes séparés d'ordre secondaire. Après avoir retranché quelques-unes de ces racines de second ordre, qui se montraient au collet du pivot, les sujets furent transportés dans de l'eau distillée, qu'on avait fait préalablement bouillir, puis, dès que les racines eurent atteint les dimensions que nous désirions, chacun d'eux fut placé dans un appareil construit simplement de la façon suivante :

Deux vases cylindriques (des verres à bière ordinaires) furent installés sur une planchette l'un contre l'autre, de façon que les bords pussent se toucher, puis on les couvrit d'un capuchon de zinc qui les réunissait, et dans le milieu duquel se trouvait soudée une sorte de bobèche avec son ouverture.

La plante fut fixée à la manière habituelle dans cette bobèche au moyen d'un bouchon percé d'un trou à son milieu et garni de ouate, de telle sorte qu'à cheval sur les bords des deux verres, qui se touchaient, elle envoyât une moitié de son système radical dans le vase A et l'autre moitié dans le vase B. (Voir pl. VI.)

Tous ces couples de vases furent ensuite remplis avec une solution nutritive, qui contenait par litre :

	GRAMMES.
Monophosphate de potasse	0,563
Carbonate de potasse	0,322
Chlorure de calcium	0,148
Sulfate de magnésie	0,160

En outre, ils reçurent tous une dose d'infusion contenant 5 grammes de terre pour chacun d'eux et préparée comme nous l'avons indiqué, avec une terre cultivée, provenant d'un carreau du jardin de la station d'essais et qui avait porté des pois en 1886. Seulement, le verre A de chaque couple reçut son infusion à l'état naturel, tandis que celle qu'on donna au vase B, mise d'abord pendant un quart d'heure sur un feu nu, avait été portée à la température d'ébullition pendant quatre heures et demie dans l'étuve stérilisatrice.

Par conséquent, d'après la disposition de l'expérience, chacune de ces quatre plantes plongeait moitié de ses racines dans une solution

nutritive, renfermant des micro-organismes vivants, et l'autre moitié dans une solution stérilisée, mais de teneur et de composition exactement semblables à la première.

Le transport des plantes dans la solution eut lieu le 30 juillet. A ce moment on ne pouvait encore découvrir, sur aucun point des racines, de signes précurseurs de la formation des tubérosités; mais les quatre sujets se trouvaient déjà dans une phase avancée de l'état d'inanition et toutes les feuilles jusqu'à l'avant-dernière étaient complètement décolorées.

Pendant les neuf premiers jours de l'expérience, on n'eut à signaler aucune modification frappante, sinon la croissance lente et uniforme des racines dans tous les vases.

Mais à dater du 9 août, les plantes des numéros 380, 381 et 382 manifestèrent, de façon qu'on ne pouvait les méconnaître, des dispositions à former des protubérances radicales ; cependant, chose digne de remarque, cette tendance ne se montra que dans cette moitié des systèmes radiculaires qui dans les vases A avaient été pourvus d'une infusion de terre à l'état naturel, mais nulle part dans l'autre moitié, dont les racines, aux vases B, plongeaient dans la solution stérilisée.

Le développement de ces protubérances ne se fit pas attendre. Au 15 août, sur le sujet du n° 380, elles étaient à peu près aussi nombreuses qu'elles l'auraient été sur des pois croissant en plein champ dans des conditions normales ; on pouvait les voir ici et là pressées l'une contre l'autre, comme les perles d'un collier et en partie déjà de dimensions notables. La plante numéro 381 ne reste pas beaucoup en arrière du vase précédent ; sur celle du numéro 382, qui se montrait moins empressée, on pouvait cependant compter 18 tubérosités radicales de la grosseur d'une tête d'épingle. Quant au numéro 383, l'infusion n'avait amené aucune production de tubérosités et, en attendant, la plante avait succombé.

La planche IV montre la disposition donnée à l'expérience et la planche V fait voir, étendus entre deux plaques de verre pour les photographier, les deux systèmes radiculaires de la plante numéro 380, dans l'état de développement qu'ils avaient atteint le 15 août.

L'expérience fut poursuivie jusqu'à la fin d'août, mais sans rien

offrir de bien remarquable. A ce moment les plantes n'avaient même pas montré encore la moindre trace de formations tubéreuses sur les racines plongeant dans les vases B stérilisés. Chez toutes, il se manifesta quelques tendances à donner des rejets latéraux, mais ceux-ci se flétrirent bientôt sans parvenir à se développer.

Nous ne croyons pas devoir attacher beaucoup d'importance à ce fait que la formation des tubérosités n'a pas eu pour résultat de provoquer dans les plantes une assimilation active et une croissance énergique ; car nous pouvons l'attribuer, comme nous l'avons dit plus haut, en parlant de l'expérience de Rautenberg et Kühn, à l'annulation des fonctions, quand les tubérosités radicales sont nourries dans une solution aqueuse.

Le résultat de cette expérience nous semble au contraire contredire très nettement cette opinion, que les protubérances radicales ne seraient que des réservoirs accidentels destinés à emmagasiner des matières albuminoïdes. Nous ne saurions en tout cas trouver une explication plausible de cette manière de voir dans la production constante de tubercules dans les plantes observées sur la partie seule de leurs racines qui se nourrissait dans la solution non stérilisée alors qu'ils manquaient sans exception, sur l'autre partie plongeant dans une solution stérilisée, qui, nous le répétons, était chimiquement absolument semblable à la première.

Ces considérations nous autorisent, croyons-nous, jusqu'à preuve contraire, à maintenir fermement cette opinion que les tubérosités radicales sont chez les légumineuses des organes d'assimilation, dans un rapport étroit de causalité, bien qu'il ne soit pas encore complètement expliqué jusqu'ici, avec l'assimilation de l'azote, même quand cet aliment n'existe pas dans le sol sous une forme accessible aux autres espèces végétales.

XV.

Il nous restait à examiner de plus près quelle était l'origine de l'azote assimilé par les légumineuses. Dès lors qu'il ne leur était pas fourni par le sol, l'unique source devait en être l'atmosphère, dans

lequel l'azote existe tant à l'état d'élément libre qu'en combinaison avec l'hydrogène ou avec l'oxygène.

La proportion dans laquelle ces dernières combinaisons se rencontrent dans l'air atmosphérique, est vraiment trop faible pour supposer *à priori* qu'il puisse s'agir, dans la question qui nous occupe, d'une *assimilation autre que celle de l'azote élémentaire libre;* mais il fallut naturellement chercher à en donner une démonstration expérimentale : c'est ce que nous avons tenté de deux manières différentes.

En 1886, une plaque d'ardoise, longue de 1^{m},60 et large de 0^{m},60, fut montée sur un châssis massif en bois, de façon à former la toiture plate d'une petite construction en planches, sous laquelle un homme pouvait facilement manipuler. Dans cette table étaient percées, à 21 centimètres l'une de l'autre, quatre ouvertures circulaires, de 13 centimètres de largeur, et autour de chacune d'elles sur la surface supérieure avait été concentriquement creusée une rainure annulaire de 25 centimètres de diamètre, qui permettait de placer sur chaque trou une cloche de verre de 25 centimètres de diamètre sur 1^{m},05 de hauteur et de l'y fixer hermétiquement avec du ciment. Une rainure semblable, mais n'ayant que 15 centimètres de diamètre, était gravée sur la face inférieure de la table, permettant d'assujettir sous chaque ouverture un de nos vases habituels de culture et le préserver du contact de l'air en cimentant son bord supérieur appliqué contre la feuille d'ardoise. Enfin le petit trou d'aération, qui se trouvait au fond de chaque vase étant fermé avec un bouchon et de la laque, le vase situé au-dessous et la cloche de verre qui le recouvrait au-dessus ne formaient plus qu'un seul espace, hermétiquement clos. Nous mettions ainsi à la disposition des plantes qui devaient y croître, un espace libre d'une hauteur que nous n'aurions jamais pu leur offrir, en mettant le vase sous la cloche. Cet avantage nous parut assez considérable pour nous faire choisir cette disposition, quoiqu'elle fût un peu compliquée et, dans bien des cas, incommode.

Comme les cloches du dessus et les vases du dessous n'avaient pas le même diamètre, on put percer trois nouveaux trous, un étroit et deux larges, destinés à laisser passer à travers l'ardoise des tuyaux à gaz, qui dans la partie supérieure aboutissaient à l'intérieur des

cloches, tandis qu'à la face inférieure ils prenaient jour librement à côté des vases.

Les tubes larges, dont l'un, le tube adducteur, montait jusqu'à la partie bombée de la cloche, et l'autre, le tube abducteur, s'ouvrait au rez de l'ardoise, furent réunis l'un à l'autre de la façon suivante, pour établir une conduite d'air passant à travers toutes les cloches.

Le tube adducteur de la cloche I fut mis en contact avec l'air extérieur par une allonge, qui traversait la paroi de la construction, tandis que le tube abducteur de cette même cloche était relié à une batterie de vases absorbants, qu'on avait placés en un lieu commode au pied de l'appareil. L'autre extrémité de la batterie d'absorption fut alors réunie au tube adducteur de la cloche II, le tube abducteur de celle-ci réuni au tube adducteur de la cloche III. On relia de la même manière celle-ci à la cloche IV, et enfin on adapta au tube abducteur de cette dernière une trompe à eau de Körting.

On voit que, l'appareil étant bien clos et les vases de cultures lutés, quand la trompe à air de l'extrémité était mise en action, un courant d'air constant devait le traverser et qu'ainsi l'air atmosphérique entré sans altération dans la cloche I, après s'être dépouillé dans les vases absorbants de l'azote combiné qu'il contenait, passait dans la cloche II, de celle-ci dans la cloche III et en dernier lieu dans la cloche IV.

Tout ce système n'avait évidemment pas pour seul but d'établir une ventilation égale dans les quatre cloches placées l'une près de l'autre au moyen d'un aspirateur unique, elle devait en particulier nous permettre, d'une part, de n'introduire dans chaque cloche qu'une atmosphère de même origine, de même composition et en quantité absolument égale, et, d'autre part, de purifier l'air complètement et sûrement des moindres traces d'azote combiné qu'il pouvait contenir, non seulement en le faisant passer dans des milieux absorbants, mais en le soumettant à l'assimilation active des plantes qui végétaient sous la première cloche.

Les troisièmes tubes étroits, indépendants de cette conduite d'air et montant à l'intérieur des cloches jusqu'au tiers environ de leur hauteur, furent employés à amener l'acide carbonique nécessaire : chacun d'eux était relié à un appareil producteur de cet acide, muni

d'un flacon laveur. Dans la conduite on avait placé des robinets en verre et de petits ballons à demi remplis d'eau qui, agissant comme des compteurs à bulle, permettaient de régler d'une façon convenable la proportion d'acide carbonique introduite dans chaque cloche. Ces indications doivent suffire à faire comprendre quelle était la disposition générale de l'appareil.

La trompe bien réglée aspirait 8 litres d'air par minute d'une façon constante, ainsi que permettait de le constater un compteur à gaz, inséré entre le Körting et le tube adducteur de la cloche IV : la capacité intérieure des cloches étant de 50 litres en moyenne, l'air se trouvait ainsi complètement renouvelé toutes les 6 minutes environ. Cette rapidité dans la circulation de l'air, répondant à nos désirs, fut maintenue pendant toute la durée de l'expérience. Nous espérions, au moins au début, échapper, grâce à elle, à l'état de malaise qui se manifeste chez les plantes élevées dans de petits espaces clos et surtout éviter dans les vapeurs une tension d'une intensité anormale. (Remarquons, entre parenthèse, que cet espoir fut trompé, car, nos plantes ayant atteint une hauteur considérable et l'évaporation se faisant énergiquement, dès qu'un rayon de soleil perçait à travers la cloche, l'eau ruisselait sur les parois intérieures.)

La batterie d'absorption était assez forte pour qu'on pût en attendre un effet complet même dans ces conditions. Elle se composait de deux flacons laveurs de la plus grande dimension et de quatre hautes éprouvettes absorbantes. Pour remplir la batterie, on avait dû employer un demi-quintal métrique de pierre ponce, qui pour les quatre premiers vases avait été imbibée d'acide sulfurique étendu d'eau et pour les deux autres d'une dissolution de carbonate de soude. On fit en sorte qu'il restât, autant que possible, entre les fragments de pierre ponce, séparés l'un de l'autre, un espace vide de 25 litres environ, de façon que l'air qui traversait les vases, entraîné par le courant supérieur, demeurât toujours à peu près trois minutes en contact avec les surfaces absorbantes.

Quant à l'introduction de l'acide carbonique, nous ne pouvions agir qu'empiriquement. Il était naturel de penser que l'air, en suivant sa route de cloche en cloche, devait voir son acide carbonique de plus en plus épuisé, après avoir satisfait successivement aux be-

soins des plantes. A quel degré l'était-il ? On l'ignorait et l'épuisement devait varier suivant le développement des végétaux ; on était certain seulement que les plantes de la dernière cloche pouvaient souffrir dans leur végétation d'un manque relatif de composés carbonés assimilables et il fallait les protéger contre cette éventualité.

Nous réglâmes donc la marche de l'acide carbonique de façon que, pendant la durée de l'expérience, il s'écoulât :

			CENTIM. CUBES.	
Après la cloche	II,	toujours	2,5	par minute
—	III,	—	2,0	—
—	IV,	—	1,5	—

Il était à supposer que les plantes n'utiliseraient jamais de telles quantités de carbone ; car vraisemblablement par ce procédé la teneur de l'air en acide carbonique fut toujours un peu plus forte sous les deux dernières cloches que sous les deux premières et même qu'elle ne l'eût été dans une atmosphère normale. Mais il nous importait peu ; le résultat de notre expérience au cas présent ne pouvait être compromis que par un défaut d'acide carbonique, mais ne devait pas souffrir de l'excès.

Les autres conditions spéciales à cette expérience furent les suivantes :

Nous avons dit plus haut (p. 190 et 191) qu'en 1886, dix vases entre autres (n°s 160-169), remplis de 4 kilogr. de sable chacun, avaient reçu le mélange nutritif habituel, dépourvu d'azote, avec une addition d'infusion de terre provenant de notre champ d'expériences, et qu'au 25 mai chacun de ces vases avait été ensemencé de deux graines de pois. Nous avons dit, de plus, que ces pois, après une levée magnifique, avaient traversé au milieu de juin une courte période d'inanition dont ils s'étaient promptement relevés, et qu'à la fin du même mois ils montraient un développement tout à fait normal et que leur végétation offrait le plus bel aspect.

Sur ces dix vases, qui formaient une série séparée, les cinq numéros 162, 163, 164, 167 et 168 furent retirés. Le n° 162 fut immédiatement récolté, le 2 juillet, afin de constater quelle était à ce moment la quantité de substance sèche produite, ainsi que sa teneur

en azote, les quatre autres vases furent portés dans l'appareil que nous venons de décrire; puis, après les avoir bien fixés avec du lut, la trompe à air et l'appareil à dégagement d'acide carbonique furent mis en action.

Pendant le mois de juillet les pois crûrent d'une façon satisfaisante, ils montèrent peu à peu jusqu'au sommet de la cloche, c'est-à-dire qu'ils atteignirent une longueur d'un mètre et quart au moins, et ils fleurirent abondamment.

Mais, à la fin du mois, ils furent gravement atteints par les coups de soleil de quelques jours très chauds. Toutes les fleurs tombèrent, quelques jeunes gousses, qu'ils portaient déjà, se desséchèrent, les feuilles se flétrirent et les tiges elles-mêmes, souffrantes, périrent au sommet.

Pour tenter de sauver les plantes, on jeta une toile sur les cloches, mais elle produisit peu d'effet. Les pois, il est vrai, repoussèrent un certain nombre de tiges nouvelles, sans parvenir néanmoins à reprendre une végétation normale.

Au 1er septembre on fit la récolte qui donna les résultats suivants:

NUMÉROS des vases.	NUMÉROS des cloches.	SUBSTANCE SÈCHE Dans la partie aérienne.	Dans les racines.	Dans la plante entière.
		Gr.	Gr.	Gr.
163	I	13,590	3,375	16,965
164	II	14,600	3,475	18,075
167	III	19,100	3,925	23,025
168	IV	21,000	4,315	25,315

où l'on a trouvé en :

		AZOTE		
		P. 100	P. 100	P. 100
163	I	2,57	3,23	2,70
164	II	2,23	2,18	2,22
167	III	2,18	3,12	2,34
168	IV	3,03	2,74	2,98

et comme quantité en poids:

		AZOTE		
		Gr.	Gr.	Gr.
163	I	0,3492	0,1090	0,458
164	II	0,3256	0,0758	0,401
167	III	0,4164	0,1225	0,539
168	IV	0,6363	0,1182	0,755

Les deux plantes du n° 162, qui avaient été récoltées dès le début de l'expérience, au 2 juillet, avaient fourni :

	GRAMMES.	
Pour l'ensemble des parties aériennes.	2,073	de substance sèche,
— des racines.	1,482	—
Soit au total	3,555	de substance sèche ;

et cette substance sèche renfermait :

	P. 100.	GRAMMES.	
Partie aérienne.	3,43 =	0,0711	d'azote
Racines	3,90 =	0,0578	—
Soit au total.		0,129	d'azote.

En rappelant ici combien la végétation de toute la série expérimentée était uniforme à ce moment, il nous sera permis de prendre les mêmes chiffres pour la teneur des autres numéros au début de l'expérience, et on voudra bien admettre que, du 2 juillet au 1er septembre, ils avaient produit et assimilé :

VASES.	CLOCHES.	SUBSTANCE SÈCHE. Gr.	AZOTE. Gr.
163	I	13,410	0,329
164	II	14,520	0,272
167	III	19,470	0,410
168	IV	21,760	0,626

Quoique cet essai fût loin d'avoir réussi selon notre désir, puisque nous n'avions pu maintenir jusqu'à la maturité les plantes dans une végétation normale, il n'est cependant pas inutilisable, et il nous semble même, qu'en cet état, sa démonstration vient suffisamment à l'appui de l'opinion, que l'assimilation constatée ici ne pouvait avoir pour source que l'azote libre de l'atmosphère. Suivant les indications données par le compteur, 722 mètres cubes d'air en tout traversèrent l'appareil dans l'espace de temps écoulé du 2 juillet au 1er septembre, et 1gr,637 d'azote pris à cet air fut assimilé par les plantes, soit en moyenne 2gr,27 d'azote par mètre cube d'air. Si on considère que, quelque soin qu'on y mette, on ne peut jamais recueillir tous les produits d'une récolte, sans subir quelque perte, que cette perte au cas présent, due à la mort prématurée de certains

organes des plantes, dépassa sans aucun doute la valeur qu'elle aurait eue, si aucun accident ne s'était produit, et que surtout enfin la production et l'assimilation des plantes, que nous observions, furent limitées au mois d'août, mois pendant lequel, seul, elles végétèrent activement et sans être troublées; si, dis-je, on tient compte de ces conditions, on devra conclure que la quantité d'azote tirée d'un mètre cube d'air fut à certains moments beaucoup plus considérable que ne l'exprime le chiffre moyen donné plus haut.

Les données des différents auteurs sur la teneur de l'air atmosphérique en azote combiné, sont extrêmement différentes, mais la plupart du temps elles restent fort loin de la valeur de $2^{gr},27$ par mètre cube. Fresenius a trouvé $0^{gr},17$ et Schlœsing $0^{mg},06$ d'ammoniaque dans un mètre cube d'air, d'où l'on peut inférer que les plantes mises par nous en expérience, n'ont pu se satisfaire avec l'azote combiné, tiré de l'atmosphère, mais uniquement avec l'azote libre.

Mais il est un fait qui parle plus clairement encore. Les plantes des cloches II et IV, qui n'ont reçu d'air que celui qu'on y faisait entrer après l'avoir dépouillé de ces combinaisons azotées, tant au moyen d'un appareil puissant d'absorption que par l'assimilation des plantes qui le recevaient avant elle, ces plantes qui n'avaient à leur disposition aucune autre source d'azote que l'air ambiant, ont pu non seulement végéter et assimiler des quantités notables de cet aliment, mais végéter tout aussi bien et même mieux, si l'on veut, que celles qui, placées sous la cloche I, recevaient l'air atmosphérique avant que sa teneur en combinaisons azotées fût altérée, tout aussi bien enfin que des pois végétant à l'air libre dans des conditions identiques d'ailleurs.

Aux chiffres donnés plus haut il suffira d'ajouter que les plantes du n° 163, placées sous la cloche I, ne furent pas plus atteintes que les autres par le coup de soleil, dont nous avons parlé, mais qu'au mois d'août même et dans aucun autre temps elles ne se sont montrées en meilleure situation que leurs voisines. Nous rappellerons encore, qu'ainsi que nous l'avons dit précédemment, p. 197 et 198, les numéros restants sur les dix vases qui formaient la série soumise à l'expérience (n°s 160-169), et dans lesquels nous avions

choisi les cinq vases dont nous nous occupons, continuèrent à végéter à l'air libre dans les conditions habituelles et que leur récolte parvenue à la maturité normale donna les rendements suivants :

NUMÉROS des vases.	TOTALITÉ de la substance sèche de la partie aérienne[1].	TENEUR en azote.
—	—	—
	Gr.	Gr.
160	15,789	0,425
161	18,768	0,493
165	19,743	0,520
169	16,200	0,429

Le numéro 166 fut séparé de la série dès la fin de juin et employé à l'étude des racines.

En 1887, l'expérience dut être recommencée en apportant quelques modifications extérieures à l'appareil, afin d'écarter le danger d'une température exagérée à l'intérieur de la cloche, sans pour cela diminuer l'intensité de la lumière au point d'en faire une cause de souffrance. Mais ces modifications eurent peu d'effet; dès leur plus tendre jeunesse les plantes furent atteintes de telle sorte qu'il fallut porter tous nos efforts de ce côté et employer simplement les dispositions prises par Boussingault dans son expérience fondamentale bien connue.

Boussingault avait emprisonné ses plantes dans un ballon de verre et les élevant là dans un milieu non seulement dépourvu d'azote, mais encore stérilisé, il démontra d'une façon précise que dans ces conditions il ne se faisait ni production, ni assimilation d'azote.

Pour nous, ce que nous avions appris nous donnait le droit de compter que des légumineuses, élevées dans des conditions exactement semblables, pourraient se développer et assimiler de l'azote en proportion notable, si nous vivifiions la matière du milieu de culture en y introduisant artificiellement des micro-organismes.

Il était facile de donner à un simple ballon de verre une disposition qui permît d'éviter l'excès de chaleur à l'intérieur, ce qui n'était pas possible pour des cloches, exhaussées sur une toiture d'ardoise à couleur foncée et exposées de tous les côtés aux rayons directs du so-

1. On n'a pas tenu compte dans ces 4 numéros de la récolte des racines.

leil, ou ce qu'on n'eût pu réaliser qu'en pratiquant une ventilation énergique, incompatible avec le but de l'expérience.

Dans une bonbonne en verre blanc, avec bouchon en verre rodé, d'une contenance de 44 litres, on plaça 4 kilogr. de sable quartzeux, préalablement porté au rouge pendant deux heures dans le four à réverbère ; puis on l'additionna de :

	GRAMMES.	
Carbonate de chaux.	4,000	(Mélangé à l'état sec.)
Monophosphate de potasse	0,544	(Donnés comme solution nutritive.)
Chlorure de potassium	0,298	
Chlorure de calcium	0,222	
Sulfate de magnésie.	0,240	

et en outre, de 25 centimètres cubes d'une infusion préparée avec 5 grammes de terre prise à notre champ d'expériences et qui, suivant deux analyses concordantes, contenait $0^{mg},15$ d'azote; enfin, avec de l'eau distillée on porta l'humidité du sable à 17.5 p. 100, soit 70 p. 100 de sa faculté d'absorption.

Au moyen d'une petite cuillère à long manche, on forma dans le fond du ballon un petit mamelon de sable haut de 10 centimètres environ, dans lequel on planta une graine de pois le 6 juin. — Vase numéro 384.

Ce ballon fut placé sur un tertre convenable à l'intérieur et derrière la paroi nord de la serre, recevant ainsi non seulement de la lumière diffuse, mais de la lumière directe, qui toutefois ayant à traverser une double paroi de verre épais, perdait beaucoup de son intensité par la réflexion et l'absorption.

L'influence de cette disposition avantageuse fut constatée par les observations simultanées suivantes, faites aux jours particulièrement chauds.

Températures :

Le 9 juillet, 2 heures après midi :

	DEGRÉS CENTIGRADES.
Thermomètre enregistreur au soleil	43
— à l'ombre	30
Intérieur des cloches de l'appareil de 1886.	42
— du ballon	36

Le 26 juillet, midi :

	DEGRÉS CENTIGRADES.
Thermomètre enregistreur au soleil	41
— à l'ombre	26
Intérieur des cloches de l'appareil de 1886	39
— du ballon	28,5

Le 27 juillet, 11 heures du matin :

	DEGRÉS CENTIGRADES.
Thermomètre enregistreur au soleil	46
— à l'ombre	28
Intérieur des cloches de l'appareil de 1886	42
— du ballon	32

Le pois semé germa normalement dans ces conditions et végéta bien tant que la réserve alimentaire de la graine suffit à sa nutrition, puis au commencement de la quatrième semaine de juin il entra dans un état d'inanition nettement marqué, mais au commencement de juillet il se mit à reverdir et à manifester des dispositions à pousser.

Malheureusement la faible quantité d'acide carbonique primitivement contenue dans l'air confiné n'était naturellement pas suffisante et il fallut songer à en introduire artificiellement, ce qui rendait inévitable l'ouverture temporaire du ballon.

Pour rendre cette opération aussi courte que possible, la quantité d'acide à donner, pur et bien lavé, fut préalablement mesurée dans une cloche munie d'un large tube de dégagement, puis rapidement chassée dans le ballon. (Le temps que dura cette manipulation ne dépassa jamais deux minutes.)

La nécessité d'une addition d'acide carbonique était toujours révélée par la plante elle-même très sûrement et d'une façon précise, par un ralentissement dans la végétation.

Il fut donc donné :

	ACIDE CARBONIQUE. — Litres.
Au 25 juin	1
Au 9 juillet	2 1/2
Au 21 juillet	2 1/2
Au 29 juillet	2 1/2

La première ouverture du ballon, au 25 juin, fut en même temps

utilisée pour l'introduction d'un grain d'avoine et d'un autre de sarrasin, qui furent plantés à côté du jeune pois.

Quant au développement ultérieur de celui-ci, voici ce qui se passa. Après qu'il eut au commencement de juillet complètement triomphé de la période d'inanition, il se mit à croître avec une grande énergie, ainsi qu'il ressort des notes consignées sur notre journal d'observations.

« Au 6 juillet déjà, le pois avait atteint la faible hauteur du ballon. En se développant, la tige se courba et se contourna autour des parois, tellement que sa longueur réelle, le 21 juillet, pouvait être évaluée à 70 ou 75 centimètres environ. Rien dans l'aspect de la plante ne s'offrait d'anormal (V. Pl. VI) ; tige et feuilles étaient vigoureuses, larges, à vrai dire luxuriantes; leur teinte n'était pas tout à fait aussi foncée que celle des sujets végétant à l'air libre. Deux pousses latérales se forment, atteignant déjà 20 centimètres de longueur au 26 juillet et en même temps apparaissent des fleurs normalement développées. La plante fait effort pour pousser plus loin sa croissance et, en cherchant à sortir de sa prison, la tige principale se brise sous sa propre impulsion. La partie brisée, portant quatre fleurs est retirée le 29 juillet, lors de l'ouverture du ballon et mise en réserve pour être réunie à la récolte. Toutes les pousses latérales s'accumulent l'une contre l'autre dans le col du ballon. Une fleur se met à fruit et on peut reconnaître facilement que la cosse renferme trois grains en préparation.

« Au mois d'août, cette végétation se ralentit peu à peu; les dernières parties formées dans la tige sont visiblement plus cassantes, on dirait du verre, et elles se fendent çà et là horizontalement, les feuilles nouvellement nées restent étroites, pointues et ont une teinte vert sombre anormale. Dans la troisième semaine d'août, la croissance demeure complètement stationnaire et la plante souffre visiblement. La question est de savoir si c'est par suite d'un manque d'acide carbonique ou d'un excès d'oxygène, qui doit s'être amassé en quantité notable dans le ballon, à la suite de la décomposition de l'acide carbonique.

« Pour en décider, on retira, le 20 août, à deux reprises 50 centimètres cubes environ d'air pris au milieu du ballon pour les sou-

mettre à l'analyse et en même temps on introduisit à nouveau 2 litres et demi d'acide carbonique. L'examen de l'air du ballon donna les résultats suivants :

« 50 centimètres cubes de cet air, mélangés et agités avec de l'eau de baryte, laissent cette eau parfaitement claire (50 centimètres cubes d'air pris dans l'atmosphère pour être comparés avec ce qui a été prélevé dans le ballon, ne donnent, il est vrai, qu'un trouble léger, mais très visible) ; l'acide carbonique du ballon a donc été complètement absorbé par le pois.

« 48^{cmc}, 35 d'air du ballon, mesurés à 18° C. dans un tube de Sachsse, donnèrent après avoir été traités par la potasse :

48^{cmc},35 à 18° C. et après addition d'acide pyrogallique :
32 ,00 à 18° C. d'où comme teneur de l'air en oxygène :

16^{cmc},35, soit $O = 33,8$ p. 100 du volume.

« Le nouvel apport d'acide carbonique dans le ballon manque presque complètement son effet habituellement favorable. Dans la semaine qui suit, l'accroissement est faible ; il se forme bien un certain nombre de pousses latérales nouvelles, mais elles ont un aspect anormal, leur teinte est vert très sombre, les parties de la tige sont extraordinairement épaisses et trapues, les *bourgeons-feuilles* peu développés, les feuilles étroites et pointues. La formation florale s'est arrêtée, beaucoup de vieilles feuilles devenues jaunes périssent, ainsi que les extrémités des premières pousses qui se sont enfoncées avec effort dans le col du ballon.

« Il ne peut plus rester de doute, la plante souffre dans le ballon d'un excès de tension de l'oxygène.

« Ce fait reconnu, le ballon est ouvert le 31 août ; les parties du pois qui ont jauni, c'est-à-dire la tige principale, deux vieilles et deux jeunes pousses latérales, sont coupées et enlevées. Puis le ballon est radicalement ventilé, en y faisant passer rapidement au moyen d'une trompe puissante un grand volume d'air (environ 300 litres) et enfin après y avoir fait entrer 2 litres et demi d'acide carbonique, il est fermé à nouveau.

« Ce changement radical de l'air a pour résultat, que dès ce moment les végétations nouvelles, qui se présentent sur les pousses restantes, redeviennent normales, les tiges s'allongent, les jeunes

feuilles reprennent plus d'ampleur, et pendant tout le mois de septembre le développement général ne s'écarte pas beaucoup de la vigueur qu'il avait eue aux premiers temps : aussi une nouvelle introduction d'acide carbonique ne nous paraît plus nécessaire et on décide d'arrêter l'expérience au 4 octobre. »

La vie pleine de péripéties de cette plante donne lieu à beaucoup d'observations intéressantes.

Nos dispositions nous permettaient d'introduire l'acide carbonique dans le ballon à certains intervalles et d'en augmenter chaque fois la proportion. En se rappelant que sa contenance totale était de 44 litres et que nous donnions la plupart du temps des doses de 2 litres et demi d'acide carbonique chacune, on constate que la plante se trouvait à certains moments dans une atmosphère contenant plus de 5 p. 100 de son volume de cet acide, sans mourir et même sans souffrir visiblement.

On n'observa aucun malaise dans la plante, en faisant monter graduellement la teneur en oxygène de l'air confiné dans le ballon jusqu'aux environs de 30 p. 100 de son volume ; mais dès que ce terme se trouvait dépassé, des phénomènes anormaux se produisaient dans la végétation.

La pousse principale, récoltée le 31 août, y compris la partie supérieure, précédemment cassée et mise à part le 29 juillet, avait atteint une longueur de 88 centimètres et portait une cosse bien conformée de 7 centimètres et demi de longueur, contenant trois grains de bonne constitution, dont un était flétri et les deux autres arrivés à un développement normal (poids sec de ceux-ci : 0g,21 et 0g,22) ; les deux pousses latérales les plus anciennes étaient longues de 40 et de 45 centimètres.

L'ensemble des produits récoltés, desséché à la température de 100° C. jusqu'à ce qu'il ait atteint un poids constant, a donné :

		SUBSTANCE SÈCHE. Gr.
1re récolte au 31 août, y compris celle du 29 juillet	Grains . . .	0,376
	Paille. . . . / Balles . . .	6,173
2e récolte faite du reste le 4 octobre	Paille. . . .	2,520
Racines de la plante entière.		1,290
Total fourni par la plante entière		10,359

L'avoine et le sarrasin, dont il n'a pas été parlé à nouveau avaient passé, à côté du pois, toute leur existence dans l'inanition. Ils avaient, il est vrai, présenté tous les deux de faibles organes floraux, mais sans parvenir à fructifier.

La totalité de la substance composant ces plantes s'élevait, au 4 octobre, à :

	SUBSTANCE SÈCHE.
	Gr.
Pour l'avoine, plante entière, racines comprises . . .	0,160
Pour le sarrasin, — —	0,036

L'analyse faite suivant la méthode Kjeldahl-Wilfarth a donné dans ces produits comme teneur en azote :

Pois.

		AZOTE TROUVÉ dans la substance sèche.	AZOTE TENEUR en poids.
		P. 100	Gr.
1re récolte au 31 août	Graines . . .	3,80	0,0141
	Paille	1,91	
	Balles	1,96	
	Moyenne . .	1,95	0,1204
2e récolte au 4 octobre	Paille	2,46	
		2,48	
	Moyenne . .	2,47	0,0622
	Racines . . .	2,85	0,0368
Total de la plante entière			0,2335

Avoine.

Plante entière, au total	2,06	0,0033

Sarrasin.

Plante entière, au total	1,70	0,0006

En outre, deux analyses du sable, dans lequel les plantes avaient végété, faites sur des échantillons prélevés en octobre après la récolte, ont donné :

	MILLIGR.	
Dans 40 grammes de sable	0,2031	d'azote.
Dans 40 autres grammes	0,2099	—
Soit une moyenne de	0,2065	d'azote.

et pour la masse totale de 4 kilogrammes de sable — $0^{gr},0207$ d'azote.

Nous ajouterons enfin que les grains plantés dans le ballon pour notre expérience de 1887 furent généralement tirés d'une semence d'élite et que leurs poids, à l'état de dessiccation à l'air, étaient les suivants :

	GRAMMES.
Grain de pois	0,2350
Grain d'avoine	0,0454
Grain de sarrasin	0,0226

Ces grains dosaient, suivant les analyses données précédemment dans la description de l'expérience de 1887, les quantités suivantes d'azote :

	GRAMMES.
Grain de pois	0,0081
Grain d'avoine	0,0007
Grain de sarrasin	0,0004

On a réuni ainsi toutes les données indispensables pour établir le chiffre auquel on est parvenu pour le gain d'azote fait dans cette expérience, sauf une seule, la teneur en azote de l'air confiné dans le ballon.

Cet air, pris à l'atmosphère habituelle du jardin de la station d'essais, ne fut malheureusement pas analysé avant le début de l'expérience, ni purifié d'une façon quelconque et renfermait sans aucun doute une certaine quantité d'azote combiné.

Mais si l'on considère que la contenance du ballon était de 44 litres seulement, qu'il ne fut rempli d'air frais que deux fois (le 6 juin et le 20 août) et ne fut ouvert que quatre fois pendant peu de minutes pour l'introduction de l'acide carbonique; qu'en outre, pour le reste du temps l'appareil fut fermé hermétiquement pendant toute la durée de l'expérience; enfin, si l'on tient compte, d'une part, de la tension régnant à l'intérieur du ballon, et qui chaque fois qu'il était ouvert se manifestait énergiquement dans le sens positif ou négatif, suivant la température, d'autre part, de la tension, de la haute teneur de l'air confiné en oxygène, teneur anormale révélée par l'analyse du 20 août, on est en droit de conclure que nos plantes pendant tout

le temps de leur existence se sont trouvées en contact avec 100 litres tout au plus d'air atmosphérique.

La quantité d'azote combiné dans 100 litres d'air atmosphérique, même en prenant pour base les déterminations les plus élevées, n'atteint pas même la valeur d'un milligramme. On peut donc nous excuser d'avoir négligé l'analyse et la purification préalable de l'air enfermé dans notre ballon, et d'établir de la manière suivante le bilan définitif de l'azote, sans attribuer aucune importance à cette omission :

Azote introduit dans le ballon à l'état de combinaison :

	GRAMMES.
Par l'air, moins de	0,0010
Par le sable énergiquement calciné	Néant.
Par la solution nutritive et l'eau distillée deux fois (en tout 700^{cmc})	Néant.
Par l'infusion de terre (25^{cmc})	0,0002
Par les trois graines ensemencées :	
Pois	0,0081
Avoine	0,0007
Sarrasin	0,0004
Soit au total	0,0104

En revanche, il a été extrait en azote combiné :

	GRAMMES.
Des plantes récoltées, etc. :	
Pois	0,2335
Avoine	0,0033
Sarrasin	0,0006
Resté dans le sol	0,0207
Soit au total	0,258

D'où il résulte un gain de 0^{gr},248 en azote combiné qui n'a pu être emprunté qu'à l'azote élémentaire libre de l'air atmosphérique.

XVI.

Jusqu'ici, à l'exception de la dernière expérience, nous n'avons porté aucune attention sur les modifications accidentelles que peut subir la teneur du sol en azote pendant la végétation. Nous nous

sommes tenus pour autorisés à le faire, puisque la tâche précise que nous nous étions imposée tout d'abord et dont nous avons posé les termes, n'embrassait que l'examen de la différence typique avec laquelle se fait l'assimilation de l'azote par les céréales et par les légumineuses, soumises aux mêmes conditions. Aussi nous avait-il paru suffisant de montrer que cette différence dans le cas qui nous occupait, était indépendante complètement d'une acquisition éventuelle d'azote, due aux propriétés chimiques et physiques du sol. La question de l'amélioration de la terre restait provisoirement en dehors du chemin que nous avions à parcourir. Mais nous aurions laissé dans notre travail une lacune, qu'on pourrait nous reprocher, à juste titre, si nous n'avions porté aucune attention sur ces modifications. Aussi n'avons-nous pas manqué d'effectuer un certain nombre de déterminations de l'azote par des analyses faites sur le sol après l'enlèvement de la récolte. Nous avons cru néanmoins pouvoir nous borner à une seule série d'expériences, en ne nous servant que du sol dans lequel ont été pratiquées les cultures de pois de l'année 1887.

Comme conclusion, je donne ici les résultats obtenus en faisant encore remarquer que les analyses ont été faites exactement comme celles que nous avons décrites p. 90 pour le sable employé comme milieu de culture, c'est-à-dire suivant la méthode Kjeldahl-Wilfarth, sur 40 grammes du sol pour chaque analyse, avec addition de sucre et en nous servant d'une liqueur titrée étendue.

Après la récolte des pois, le sol contenait :

Tableau.

NUMÉROS des vases.	AZOTE			
		Trouvé dans 40 gr. de sol	Par kilogr. de sol.	Total par vase (4000 gr).
		Mgr.	Gr.	Gr.
323		0,1760	0,0044	0,0176
		0,1768	0,0044	0,0177
		0,2022	0,0051	0,0202
	En moyenne. . . .	0,1850	0,0046	0,0185
327		0,3520	0,0088	0,0352
329		0,1557	0,0039	0,0156
332		0,2708	0,0068	0,0271
		0,2843	0,0071	0,0284
	En moyenne. . . .	0,2776	0,0069	0,0278
333		0,3317	0,0083	0,0332
335		0,3182	0,0080	0,0318
337		0,4942	0,0124	0,0494
341		0,5348	0,0134	0,0535
342		0,1828	0,0046	0,0183
		0,1828	0,0046	0,0183
	En moyenne. . . .	0,1828	0,0046	0,0183
343		0,4130	0,0103	0,0413
		0,4062	0,0102	0,0406
		0,4733	0,0118	0,0473
	En moyenne. . . .	0,4308	0,0108	0,0431
346		0,4604	0,0115	0,0460
		0,4942	0,0124	0,0494
	En moyenne. . . .	0,4773	0,0119	0,0477
348		0,3656	0,0091	0,0366
352 [1]		0,9749	0,0245	0,0975
		0,9548	0,0239	0,0955
		0,9883	0,0247	0,0988
	En moyenne. . . .	0,9727	0,0243	0,0973
354		0,2640	0,0066	0,0264
362		0,1219	0,0030	0,0122
		0,1151	0,0029	0,0115
	En moyenne. . . .	0,1185	0,0030	0,0119
363		0,2573	0,0064	0,0257
		0,2573	0,0064	0,0257
	En moyenne. . . .	0,2573	0,0064	0,0257
364		0,3250	0,0081	0,0325
		0,3317	0,0083	0,0332
	En moyenne. . . .	0,3284	0,0082	0,0328
365		0,2302	0,0058	0,0230
		0,2979	0,0074	0,0298
	En moyenne. . . .	0,2641	0,0066	0,0264
369		0,2302	0,0058	0,0230
		0,2370	0,0059	0,0237
	En moyenne. . . .	0,2336	0,0058	0,0234
370		0,3520	0,0088	0,0352

1. Dans le sable du numéro 352, il se montre de l'acide nitrique en proportion considérable, tandis que dans les autres numéros examinés il n'y avait que des traces soit de nitrates, soit de nitrites.

Avant de commencer l'expérience, on avait trouvé dans le sable une teneur moyenne en azote de 0gr,036 par kilogr., soit 0gr,0144 par vase contenant 4 kilogr. de sable.

Ce chiffre est une moyenne déduite de 16 analyses, dont quelques-unes ont varié considérablement en plus ou en moins, et comme précisément les déterminations trouvées pour l'azote après la récolte accusent des différences semblables (ce qui ne peut surprendre en songeant à la nature de notre matériel expérimental), il semble que pour découvrir les modifications qu'a subies la teneur du sol en azote pendant la végétation, il est plus exact de laisser de côté ces chiffres moyens et de prendre pour base les minima et les maxima directement obtenus.

Nous allons donc procéder en groupant nos divers numéros dans le tableau suivant, de façon à en donner une meilleure vue d'ensemble.

Le milieu de culture (4,000 gr. par vase) renfermait :

NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE sèche contenue dans les pois récoltés.	AZOTE. Avant le commencement de l'expérience.		Après la clôture de l'expérience.		Variations trouvées d'après	
		Minima.	Maxima.	Minima.	Maxima.	les chiffres minima.	les chiffres maxima.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
I. Avec mélange nutritif dépourvu d'azote.							
a) *Sans infusion de terre (les pois n'ont pas poussé).*							
323	0,744	0,007	0,022	0,018	0,020	+ 0,011	— 0,002
329	0,842	0,007	0,022	0,016	0,016	+ 0,009	— 0,006
342	0,919	0,007	0,022	0,018	0,018	+ 0,011	— 0,004
362	0,861	0,007	0,022	0,012	0,012	+ 0,005	— 0,010
Moyenne de tous les nombres.						+ 0,0035	
b) *Avec infusion de terre (les pois ont plus ou moins bien poussé).*							
327	20,096	0,007	0,022	0,035	0,035	+ 0,028	+ 0,013
332	12,563	0,007	0,022	0,027	0,028	+ 0,020	+ 0,006
333	17,129	0,007	0,022	0,033	0,033	+ 0,026	+ 0,011
335	13,503	0,007	0,022	0,032	0,032	+ 0,025	+ 0,010
337	19,711	0,007	0,022	0,049	0,049	+ 0,042	+ 0,027
341	15,926	0,007	0,022	0,053	0,053	+ 0,046	+ 0,031
343	6,571	0,007	0,022	0,041	0,047	+ 0,034	+ 0,025
Moyenne de tous les nombres.						+ 0,0246	
II. Avec doses de nitrates.							
a) *Sans infusion de terre.*							
346	11,076	0,007	0,022	0,046	0,049	+ 0,039	+ 0,027
348	11,278	0,007	0,022	0,037	0,037	+ 0,030	+ 0,015
Moyenne						+ 0,0278	

NUMÉROS des vases.	SUBSTANCE sèche contenue dans les pois récoltés.	AZOTE. Avant le commencement de l'expérience.		AZOTE. Après la clôture de l'expérience.		AZOTE. Variations trouvées d'après	
		Minima.	Maxima.	Minima.	Maxima.	les chiffres minima.	les chiffres maxima.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
			b) *Avec infusion de terre.*				
352	13,599	0,007	0,022	0,095	0,099	+ 0,088	+ 0,077[1]
354	18,362	0,007	0,022	0,026	0,026	+ 0,019	+ 0,004
			Moyenne du numéro 354			+ 0,0115	
			III. Avec doses de carbonate de chaux.				
			a) *Sans aucune addition.*				
363	7,102 ?	0,007	0,022	0,026	0,026	+ 0,019	+ 0,004
			Moyenne			+ 0,0115	
			b) *Avec infusion de terre.*				
364	14,298	0,007	0,022	0,033	0,033	+ 0,026	+ 0,011
365	2,825	0,007	0,022	0,023	0,030	+ 0,016	+ 0,008
			Moyenne			+ 0,0153	
			c) *Avec doses de nitrates.*				
369	7,609	0,007	0,022	0,023	0,024	+ 0,016	+ 0,002
			Moyenne			+ 0,0090	
			d) *Avec nitrates et infusion de terre.*				
370	20,483	0,007	0,022	0,035	0,035	+ 0,028	+ 0,013
			Moyenne			+ 0,0205	

1. Suivant ce qui a été dit en note, p. 310, l'azote du sol trouvé dans le numéro 352 se composait d'un reste des doses de nitrates données qui n'avaient pas été complètement assimilées par les plantes, aussi ce numéro doit-il être écarté des calculs faits pour établir le gain en azote.

De ces chiffres nous tirons les conclusions suivantes :

1. — Le sable quartzeux, employé comme milieu de culture, s'était, dans tous les cas et sans exception, enrichi en azote pendant la durée de nos expériences.

2. — Cet accroissement était plus important pour les numéros dans lesquels les plantes végétaient plus ou moins activement, que pour ceux dans lesquels, subissant l'inanition, elles demeuraient à peu près sans production.

3. — Mais le gain en azote a été faible partout, parfois même beaucoup plus que ne l'ont signalé d'autres observateurs qui employaient des terres humiques ou lehmeuses (100 milligrammes et plus d'azote par kilogr. de terre).

Dans les quatre premiers numéros, où la végétation a été nulle ou

à peu près, le gain en azote s'est élevé en moyenne à $0^{gr},0035$ par vase, c'est-à-dire à $0^{mg},88$ par kilogr. de sable;

Dans les 7 numéros suivants (327-343), qui portaient des plantes en bon état de végétation, la moyenne s'est élevée à $0^{gr},0246$ par vase, ou $6^{mg},15$ par kilogr. de sable; dans les 8 derniers numéros (346-370), la moyenne a été de $0^{gr},0173$ par vase, soit $4^{mg},33$ par kilogr. de sable; et dans le numéro 341, où a été constaté le gain le plus élevé en azote, les chiffres ayant été trouvés de $0^{gr},046$ (chiffres minima retranchés), $0^{gr},031$ (chiffres maxima retranchés). La moyenne fut $0^{gr},0385$ et par conséquent $0^{mg},63$ par kilogr. de sable.

4. — Presque tout l'excédent d'azote accumulé se trouvait dans le sable sous forme de combinaisons organiques.

Ces résultats n'offrent dans leur ensemble rien d'obscur, rien même qui puisse laisser une incertitude à l'esprit.

Dans nos cultures expérimentales, le sol n'était pas absolument inaccessible aux poussières organiques et organisées; dans tous nos vases, nous l'avons dit, une végétation cryptogamique se développait plus ou moins, plus tôt ou plus tard; la récolte ne pouvait jamais, en outre, être si complètement effectuée qu'il ne restât dans le sol des débris végétaux encore vivants de toute nature et des portions de ramifications des plus fines des racines.

Ceci suffit bien, il nous semble, non seulement à rendre compte de ce fait que notre sable s'est enrichi en azote pendant le cours de la végétation et que cet enrichissement était plus considérable dans les vases où les plantes végétaient vigoureusement que dans ceux où se produisait le contraire, mais même à expliquer d'une façon certaine la quantité d'azote acquise. Nous n'avons donc pas besoin de recourir à l'intervention encore fort obscure des sécrétions radicales, quoiqu'il soit possible qu'elles existent et que nous inclinions même à penser qu'elles mériteraient d'être prises en considération.

Nous attachons une certaine valeur à cette observation que le gain d'azote fait par le sol y existait presque exclusivement sous forme de combinaisons organiques. Elle ne contient certainement pas la preuve directe de l'inexactitude de l'hypothèse qui admet l'assimilation indirecte de l'azote dans d'autres conditions, telles, par exemple, que la culture dans un sol humique ou lehmeux, mais elle

nous autorise, en présence des résultats fournis par nos expériences dans le sable quartzeux, à ne pas nous incliner devant cette décision hypothétique.

Pour terminer, il nous reste à montrer que les bilans de l'azote, ainsi que les conclusions que nous en avons tirées plus haut, sans tenir compte des modifications subies en cours d'expérience par la teneur en azote du sol, ne perdent rien de leur valeur, si l'on y a égard ; et nous croyons, par le groupement suivant, pouvoir démontrer le plus simplement du monde que les chiffres donnés pour le gain de l'azote sont seulement un peu plus élevés, mais que leur signification n'est en rien altérée.

Expérience de 1887 sur les pois.

NUMÉROS des vases.	BILAN DE L'AZOTE				
	Sans tenir compte de l'azote du sol.			En tenant compte de l'azote du sol.	
	Azote donné par la semence et en nitrates.	Azote trouvé dans la plante entière.	Gain en azote de la plante seule.	Gain en azote fait par le sol.	Gain en azote fait par la plante et le sol réunis.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
323	0,016	0,013	— 0,003[1]	+ 0,005	+ 0,002[1]
329	0,016	0,014	— 0,002	+ 0,002	+ 0,000
342	0,016	0,014	— 0ʻ002	+ 0,004	+ 0,002
362	0,016	0,011	— 0,005	— 0,003	— 0,008
327	0,016	0,636	+ 0,620	+ 0,021	+ 0,641
332	0,016	0,331	+ 0,315	+ 0,013	+ 0,328
333	0,016	0,489	+ 0,473	+ 0,019	+ 0,492
335	0,016	0,294	+ 0,278	+ 0,018	+ 0,296
337	0,016	0,499	+ 0,483	+ 0,035	+ 0,518
341	0,016	0,451	+ 0,435	+ 0,039	+ 0,474
343	0,016	0,176	+ 0,160	+ 0,030	+ 0,190
346	0,128	0,112	— 0,016	+ 0,033	+ 0,017
348	0,240	0,170	— 0,070	+ 0,023	— 0,047
352	0,128	0,294	+ 0,166	+ 9,012	+ 0,178
354	0,240	0,399	+ 0,159	+ 0,012	+ 0,171
364	0,016	0,388	+ 0,372	+ 0,019	+ 0,391
365	0,016	0,048	+ 0,032	+ 0,012	+ 0,044
369	0,128	0,097	— 0,031	+ 0,009	— 0,022
370	0,128	0,295	+ 0,167	+ 0,021	+ 0,188

1. La raison, pour laquelle nous n'envisageons pas, malgré le changement de signe, la transformation de — $0^{gr},003$ d'azote en + $0^{gr},002$, dans le bilan combiné de la plante et du sol réunis, comme altérant la signification du résultat, n'aura pas besoin d'un plus ample examen, si l'on tient compte des sources d'erreur contenues dans les déterminations qui ont servi de base à ces chiffres.

XVII.

Voici, résumés dans les propositions suivantes, les résultats de notre travail.

L'assimilation et la production des céréales, orge et avoine, sur lesquelles ont porté nos expériences ont toujours été presque uniformément nulles dans un sol dépourvu d'azote, qu'il fût ou non stérilisé.

Par une addition de nitrate incorporé au sol, une végétation normale se manifestait alors dans ces plantes et leur développement était toujours dans un rapport à peu près direct avec la quantité de nitrate donnée.

Tant que les doses de nitrate ne sont pas sorties des limites dans lesquelles la teneur en azote du sol se trouvait à son minimum d'action, comme facteur de la végétation, à une partie d'azote du sol a constamment correspondu le même rendement approximatif, soit 90 à 100 parties de substance sèche fournie par la végétation aérienne des plantes.

Dans les récoltes d'orge et d'avoine, qu'elles aient crû dans un milieu dépourvu d'azote, dans un sol pauvrement ou richement doté de cet aliment, jamais on n'a retrouvé plus, ni même autant d'azote qu'il en existait dans le sol, sous forme de combinaisons assimilables, au début de l'expérience.

Rien n'a indiqué que les céréales puisent ou qu'il leur soit possible de puiser dans d'autres sources que le sol une quantité appréciable de l'azote employé à leur nutrition.

Les légumineuses expérimentées par nous, pois, serradelles et lupins, se sont exactement comportées comme les céréales dans un milieu de culture stérilisé et maintenu en état de stérilisation.

Croissance et assimilation ont été chez elles toujours et uniformément à peu près nulles dans ce cas.

Une addition de nitrates dans le sol poussait néanmoins les légumineuses à se développer et leur production fut alors dans un rapport presque direct avec la quantité d'azote fournie au sol, tout le temps

que celui-ci se trouva à son degré minimum comme facteur de la végétation.

Dans les produits récoltés on ne découvrit aucun excédent d'azote pouvant avoir une autre origine que le sol.

L'expérience fondamentale de Boussingault a été effectuée dans ces conditions et les conclusions qu'on en a tirées n'ont de valeur que pour ce cas particulier (sol stérilisé).

Dans certaines circonstances, néanmoins, les légumineuses ont pu croître dans un sol non stérilisé, même quand il était dépourvu de combinaisons azotées assimilables ou n'en contenait que des traces, quand les cultures expérimentales étaient maintenues à l'air libre, sans couverture pendant le temps de la végétation ; et on était certain d'obtenir cette croissance, en donnant au sol, dépourvu d'azote, un extrait préparé par la lixiviation dans l'eau distillée, suivie d'un repos, d'une faible quantité (1-2 p. 100) de terre convenablement choisie dans un bon sol cultivé.

Ce dernier traitement produisait chez les légumineuses non seulement une végétation généralement normale, qui était la règle, mais exceptionnellement parfois un développement d'une luxuriance étonnante ; dans ce cas, en outre, les produits récoltés accusèrent constamment un excédent d'azote très net et souvent fort élevé, qui ne pouvait avoir son origine dans le sol.

Un gain d'azote semblable, quoique moins important, fut acquis par les légumineuses après une addition d'infusion de terre dans un sol, qui, sans être complètement dépourvu de nitrates, n'en contenait pas une quantité suffisante pour satisfaire aux exigences de ces plantes.

Les céréales, au contraire, n'ont jamais montré de dispositions à croître dans un sol dont l'azote était absent, même quand il n'était pas stérilisé, et jamais on n'y a constaté de gain d'azote appréciable. Une dose d'infusion de terre dans l'un et dans l'autre cas est restée sans influence visible sur l'orge et sur l'avoine.

L'action particulière et fort importante exercée par l'extrait terreux sur l'assimilation de l'azote par les légumineuses et sur leur végétation, n'a pas pu s'expliquer par la teneur de cet extrait, soit en azote, soit en tout autre aliment propre à ces plantes.

Car, dès qu'on faisait bouillir l'extrait ou même qu'on le portait simplement à la température de 70°, il perdait, sans aucune exception, toute sa vertu.

La même espèce de légumineuse fut influencée de façon très inégale par des infusions de terre d'origines différentes, comme une infusion de terre de même origine donnée à des espèces différentes produisit des effets variables. C'est ainsi que l'extrait aqueux provenant d'une terre à betteraves sucrières de première qualité, dans laquelle depuis longtemps des pois et différentes variétés de trèfle s'étaient succédé comme récolte intercalaire, mais où il n'avait jamais été cultivé de serradelle ni de lupin, favorisa sûrement et à un haut degré la végétation, l'assimilation et la fixation de l'azote par les pois, mais, à la faible dose employée par nous, n'eut jamais la moindre action sur le développement de la serradelle et des lupins.

Dans un milieu dont les matériaux étaient dépourvus d'azote, la croissance des légumineuses, due à l'introduction d'une infusion de terre, se distingua essentiellement et très visiblement de la végétation de celles qui se trouvaient dans un sol stérilisé alimenté de nitrates, c'est-à-dire que, pour le premier cas, après la période de germination, les plantes entrèrent dans un état particulier d'inanition, accompagné de phénomènes très caractéristiques, état que suivit, après peu de jours, ou même après un temps plus long, souvent, un développement énergique et très rapide.

Dans un sol stérilisé et maintenu dans le même état pendant la période de végétation, ou alimenté avec une infusion inactive, on ne remarqua pas de production de tubérosités sur les racines, soit que ce sol étant dépourvu d'azote, les plantes y eussent depuis longtemps langui d'inanition, soit que contenant des nitrates en plus ou moins grande quantité, les plantes, pour cette raison, y atteignissent un développement plus ou moins considérable.

Dans un milieu de culture, au contraire, dont les matériaux non stérilisés avaient reçu une infusion de terre possédant toute sa vertu, la formation de protubérances radicales normalement développées fut toujours manifeste et avec elle se produisait une assimilation importante d'azote à l'état constant de combinaison, dont on ne devait pas chercher la source dans le sol. La formation des tubérosités et

l'acquisition d'azote se montrèrent même ici non seulement dans un sol dépourvu d'azote, mais aussi dans celui qui renfermait une certaine quantité de nitrates, insuffisante néanmoins pour satisfaire aux exigences de la plante ; seulement, dans ce dernier cas le résultat était quantitativement plus faible.

Sur un seul et même pied de légumineuse, moitié du système radical donna naissance à des protubérances et l'autre moitié en fut privée par ce seul fait que la première plongeant dans un milieu privé d'azote y avait reçu quelque peu d'infusion terreuse non stérilisée, tandis que l'autre, placée dans des conditions exactement semblables, avait été alimentée d'une solution stérilisée par l'ébullition.

La formation des tubérosités non seulement eut lieu tout au début du premier stade de développement de la plante, mais se montra même très clairement dans l'état d'inanition qui le précédait, quoique cet état obligeât les plantes à résorber les organes d'assimilation les plus indispensables, afin de prolonger leur existence. Un accroissement évident des légumineuses suivit toujours le développement des tubérosités radicales.

Une végétation active accompagnée d'une importante assimilation d'azote put être obtenue chez les légumineuses dans un sol dépourvu de cet aliment quand on les faisait végéter dans une atmosphère purifiée de toute combinaison azotée ou dans un volume d'air limité qui ne pouvait leur fournir que des traces d'azote en combinaison.

De ces résultats purement objectifs nous tirons les conclusions suivantes :

1° Les légumineuses diffèrent fondamentalement des graminées dans leur mode de nutrition relativement à l'azote ;

2° Les graminées ne peuvent satisfaire à leur besoin d'azote qu'au moyen des combinaisons assimilables existant dans le sol et leur développement est toujours en rapport direct avec l'approvisionnement d'azote que le sol met à leur disposition ;

3° En dehors de l'azote du sol, les légumineuses ont à leur service une seconde source où elles peuvent puiser de la façon la plus abondante tout l'azote qu'exige leur alimentation, ou compléter ce qui leur manque quand la première source est insuffisante ;

4° Cette seconde source, c'est l'azote libre, l'azote élémentaire de l'atmosphère qui la leur offre ;

5° Les légumineuses ne possèdent pas par elles-mêmes la faculté d'assimiler l'azote libre de l'air; il est absolument nécessaire que l'action vitale des micro-organismes du sol leur vienne en aide pour atteindre ce résultat;

6° Pour que l'azote libre de l'air puisse servir à l'alimentation des légumineuses, la seule présence d'organismes inférieurs dans le sol ne suffit pas, il faut encore que certains d'entre eux entrent en relations symbiotiques avec les plantes ;

7° Les tubérosités radicales ne doivent pas être considérées comme de simples réservoirs de substances albuminoïdes ; ils sont dans une relation de cause à effet avec l'assimilation de l'azote libre.

Ces conclusions ne portent naturellement que sur les variétés des légumineuses qui ont fait l'objet de nos expériences et les propositions formulées aux alinéas 5 et 6 ne pourront avoir qu'une valeur hypothétique, tant qu'on ne sera pas plus exactement renseigné sur les relations réciproques des micro-organismes et des légumineuses. Mais des expériences comme celles de M. Ward, celles de Bréal[1] plus récentes, de Vuillemin[2] et en particulier de Prazmowski[3], promettent de jeter bientôt une lumière plus vive sur cette question.

Les résultats que nous donnons ci-dessus, on peut facilement s'en convaincre, sont en concordance parfaite avec les assertions, dont, en septembre 1886, nous tentions de donner les motifs dans la 29e section du 59e congrès des naturalistes allemands[4]. Dans les objections qui leur ont été faites déjà, nous ne trouvons rien qui nous mette dans l'obligation de renoncer à notre opinion, basée sur les expériences précédemment décrites. Un grand nombre d'expériences, effectuées dans le courant de cette année, soit pour contrôler, soit pour compléter les observations antérieures, confirment, autant que les résultats jusqu'ici permettent d'en juger, les anciennes expériences faites dans cette direction et ne les contredisent en rien.

---

1. *Comptes rendus,* CVII, p. 397.
2. *Annal. de la Sc. agr.,* t. I, 1888.
3. *Botan. Ctrbl.,* XXXVI, p. 248.
4. *Tageblatt,* p. 290.

XVIII.

Il n'était pas originairement dans notre intention, nous l'avons déjà dit, d'examiner de près la question de savoir si et comment les légumineuses peuvent être regardées comme des plantes améliorantes dans le sens agricole du terme ; mais elle est dans un rapport tellement étroit avec le mode particulier d'assimilation de l'azote par ces plantes et, d'autre part, nos résultats ont déjà servi si souvent à formuler des conclusions à ce point de vue, que votre rapporteur se tient pour obligé de prendre position, par quelques mots, sur ce terrain plein d'intérêt.

La question de l'influence améliorante des légumineuses se pose aujourd'hui, à mon avis, de la façon suivante :

Une bonne récolte peut être obtenue avec une légumineuse dans un sol peu riche ou même pauvre en aliments azotés, et cette récolte contient toujours considérablement plus d'azote que n'en accuserait, dans les mêmes conditions, une récolte de céréales aussi bonne relativement.

Le capital engrais de l'exploitation s'enrichit en azote par les légumineuses, en même temps que celles-ci d'un autre côté laissent dans le sol une grande quantité de racines dont la teneur en azote est très élevée.

Mais cet excédent d'azote ne tire, pour aucune part, son origine dans l'approvisionnemont du sol, qui est uniquement affecté aux besoins d'aliments azotés des autres plantes culturales ; ce gain se puise à des sources qui sont inaccessibles à celles-ci, dont l'utilisation ne coûte rien au cultivateur et qui n'exigent aucune restitution par l'engrais.

Voici des preuves à l'appui de cette dernière proposition.

Le processus des combinaisons et des dissociations de l'azote dans le sol est encore peu connu en général et rien n'est certain non plus sur ses effets quantitatifs ; les légumineuses ont-elles le pouvoir de favoriser les premières et de modérer les secondes? L'obscurité la plus complète règne encore sur cette question. Il est néanmoins vraisemblable que certaines variétés de légumineuses par la longue

durée de leur végétation, d'autres par l'allongement relatif de leur période d'assimilation sont mieux douées que d'autres plantes culturales, de la faculté d'utiliser les combinaisons azotées qui se rencontrent dans l'air, ainsi que celles qui se produisent par précipitation météorique, et d'empêcher l'entraînement par les eaux de l'acide nitrique du sol. Toutefois le gain d'azote qui peut en résulter ne franchira jamais, au point de vue quantitatif, des limites modestes.

En revanche, les expériences de Rothamsted établissent avec certitude que certaines variétés de légumineuses, pourvues de racines plongeant profondément, peuvent aller chercher des quantités notables d'aliments azotés dans des régions du sous-sol qui restent toujours inaccessibles aux autres plantes.

Pour moi, je regarde comme étant également bien établi que certaines variétés de légumineuses, sinon toutes, ont la faculté, avec le concours de micro-organismes, d'utiliser l'azote libre existant dans l'air à l'état élémentaire, et de l'emmagasiner sous forme de matières albuminoïdes. Cette source d'azote est inépuisable et peut, dans des conditions favorables, suffire à elle seule pour satisfaire aux exigences des légumineuses et leur permettre d'atteindre à un développement normal, luxuriant même.

Ces faits, on le voit, suffisent à justifier pleinement, ainsi qu'à démontrer scientifiquement :

Premièrement, la vieille affirmation, due à l'expérience et à laquelle de tout temps se sont attachés les praticiens, que les légumineuses doivent être regardées, en économie rurale, comme des plantes améliorantes;

En second lieu, cette sentence de Liebig : « L'étoile polaire de tout progrès en agriculture est la connaissance des sources naturelles où l'on peut puiser tout l'azote dont on a besoin. »

Enfin, le système d'exploitation rurale de Schultz-Lupitz, qui est établi sur ce principe.

Dans tous les cas, on doit encore considérer que la source d'alimentation accessible aux autres plantes culturales, c'est-à-dire l'approvisionnement du sol en combinaisons d'azote assimilable, n'est en aucune façon dédaignée par les légumineuses, qui l'utilisent tout aussi bien et en usent toujours avant tout autre.

C'est ainsi, sans aller plus loin, que l'action améliorante des légumineuses non seulement se manifeste clairement dans tous les sols pauvres en humus et en azote, mais, en fait, y est plus considérable que dans des terrains plus riches et même que dans les meilleurs sols de culture.

Je crois cependant qu'on n'est pas obligé de conclure de là *à priori* que cette action doive être nulle, ou même seulement à peu près nulle, dans toutes les terres riches qui se trouvent en bon état de culture.

Une belle récolte de légumineuses ne renferme pas seulement plus d'azote qu'une récolte également belle de céréales, ayant végété dans les mêmes conditions; elle exige aussi une alimentation azotée plus considérable; mais les sols qui contiennent des combinaisons d'azote assimilable, en plus grande quantité que ne l'exige la production d'une bonne récolte de céréales, sont rares.

Je crois que l'action améliorante des légumineuses non seulement se fait sentir sur les terres, dont on ne peut élever le rendement en céréales par un engrais azoté, mais je suis convaincu qu'on doit lui accorder une véritable importance économique et que certainement c'est à elle qu'est due l'écrasante supériorité de tous les sols arables cultivés selon les lois agronomiques.

La totalité de l'azote contenu dans une récolte quelconque de légumineuses ne peut sans aucun doute être mise au compte de l'amélioration seule de la terre, mais, à peu d'exceptions près, on est en droit d'en regarder une certaine portion, comme constituant un gain net d'azote.

Je suis d'avis que là doivent s'arrêter nos conclusions et qu'on ne pourra en tirer de plus étendues au profit de la pratique agricole, tant qu'on ne sera pas mieux fixé sur la nature et sur le mode d'existence des micro-organismes, dont l'action coopère à l'assimilation de l'azote par les légumineuses; mais le temps n'en est pas venu encore.

DOCUMENTS ANALYTIQUES

QUI ONT SERVI

AUX DÉTERMINATIONS DE L'AZOTE

I. — PRODUITS RÉCOLTÉS

A. — Suivant la méthode de Dumas avec l'appareil de Kreussler et suivant ses prescriptions. *Landwirthsch. Versuchs-Stationen*. (Vol. XXXI, p. 207.)

NUMÉROS des vases.	NATURE du produit.	QUANTITÉ de substance sèche analysée.	VOLUMES de gaz mesurés.	TEMPÉRATURE.	PRESSION barométrique réduite à 0°.	AZOTE TROUVÉ [1].		ANALYSTES [2].
		Gr.	Gr.	0° C.	mm	mgr.	p. 100.	
				ANNÉE 1884.				
20	Orge, grains. .	1,0040	10,5	18	773,4	12,12	1.20	R.
85	Pois, grains . .	0,8885	27,6	20	767,0	31,80	3.58	R.
90	Pois, grains . .	0,8865	35,0	17	764,0	40,77	4.59	R.
				ANNÉE 1885.				
94	Pois, grains . .	0,9348	39,4	19	765,0	45,60	4.87	R.
105	Pois, grains . .	0,9880	45,6	16	757,0	52,95	5.36	R.
105	Pois, balles et paille . . .	0,9410	21,0	20	767,0	24,11	2.56	R.
109	Pois, grains . .	0,9135	42,6	20	761,0	48,84	5.15	R.
109	Pois, balles et paille . . .	0,9403	10,5	17	765,0	12,02	1.28	R.

(1) Corrigé en retranchant $0^{mgr},32$ pour l'air restant.
(2) R = Dr H. Rœmer. — Wf. = Dr H. Wilfarth. — M. = H. Mœller. — Wm. = G. Wimmer.

B. — Méthode Varrentrapp-Will. (20 cent. cubes $H^2SO^4 = 0^g,1334$ Az.)

Liqueurs titrées.

a. 20^{cm^3},0 NaOH $= 20$ cent. cubes H^2SO^4 — 1 cent. cube NaOH $= 0^{gr},00667$ Az.
b. 54 ,2 $Ba(OH)^2 = 20$ — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH)^2 = 0$,00246 Az.
c. 54 ,1 $Ba(OH)^2 = 20$ — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH)^2 = 0$,00247 Az.
d. 54 ,6 $Ba(OH)^2 = 20$ — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH)^2 = 0$,00244 Az
e. 65 ,7 $Ba(OH)^2 = 20$ — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH)^2 = 0$,00203 Az.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				ORGE 1883.					
1	Grains.	1,3970	*b.*	54,2	44,9	9,3	22,89	1.64	R.
	Balles.	1,1472	*d.*	54,6	52,5	2,1	5,13	0.45	R.
		0,9035	*d.*	54,6	52,8	1,8	4,40	0.48	R.
	Paille	1,0462	*d.*	54,6	52,6	2,0	4,89	0.47	R.
		1,1221	*e.*	65,7	63,3	2,4	4,87	0.43	R.
	Racines (avec sable)	10,0572	*a.*	20,0	19,1	0,9	6,00	—	R.
		10,3240	*e.*	65,7	62,5	3,2	6,50	—	R.
2 et 4 réunis.	Grains.	1,3550	*b.*	54,2	46,5	7,7	18,95	1.40	R.
	Balles.	1,0225	*c.*	54,1	52,4	1,7	4,19	0.41	R
		0,9720	*e.*	65,7	63,7	2,0	4,06	0.42	R.
	Paille	0,9955	*d.*	54,6	52,7	1,9	4,64	0.47	R.
		1,0250	*d.*	54,6	52,7	1,9	4,64	0.45	R.
	Racines (avec sable)	11,3151	*d.*	54,6	52,3	2,3	5,62	—	R.
		9,7713	*e.*	65,7	63,3	2,4	4,87	—	R.
5	Grains.	1,2977	*b.*	54,2	47,1	7,1	17,47	1.35	R.
	Balles.	1,2112	*b.*	54,2	52,1	2,0	4,93	0.41	R.
	Paille	1,0000	*d.*	54,6	52,8	1,8	4,40	0.44	R.
		0,9639	*d.*	54,6	52,8	1,8	4,40	0.46	R.
	Racines (avec sable)	10,8705	*d.*	54,6	52,4	2,2	5,38	—	R.
		9,9975	*e.*	65,7	63,4	2,3	4,67	—	R.
7 et 8 réunis.	Grains.	1,3396	*b.*	54,2	47,2	7,0	17,23	1.29	R.
	Balles.	1,0120	*c.*	54,1	52,5	1,6	3,94	0.39	R.
	Paille	1,0135	*c.*	54,1	52,4	1,7	4,19	0.41	R.
		1,0504	*e.*	65,7	63,6	2,1	4,26	0.41	R.
	Racines (avec sable)	10,1150	*e.*	65,7	63,7	2,0	4,06	—	R.
		10,4095	*d.*	54,6	52,6	2,0	4,89	—	R.
9 et 10 réunis.	Grains.	0,9112	*c.*	54,1	49,6	4,5	11,09	1.22	R.
	Balles.	0,7506	*c.*	54,1	53,0	1,1	2,71	0.36	R.
	Paille.	0,9862	*c.*	54,1	52,6	1,5	3,70	0.37	R.
		1,0300	*e.*	65,7	63,9	1,8	3,66	0.35	R.
	Racines (avec sable)	7,4475	*a.*	20,0	19,2	0,8	5,34	—	R.
		3,8490	*e.*	65,7	64,2	1,5	3,05	—	R.
12	Grains.	0,9786	*b.*	54,2	49,4	4,8	11,81	1.21	R.
	Balles.	0,2170	*c.*	54,1	53,85	0,25	0,62	0.28	R.
	Paille	0,9742	*b.*	54,2	52,9	1,3	3,20	0.33	R.
	Racines (avec sable)	9,7275	*d.*	54,6	53,3	1,3	3,18	—	R.
		6,9712	*e.*	65,7	64,4	1,3	2,64	—	R.
13	Plante entière . . .	»	*a.*	20,0	19,2	0,8	5,34	—	R.
14	Plante entière . . .	»	*a.*	20,0	19,2	0,8	5,34	—	R.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				AVOINE 1883.					
35	Grains.	1,3895	*b.*	54,2	45,6	8,6	21,17	1.52	R.
	Balles.	1,0023	*b.*	54,2	48,8	5,4	13,19	1.32	R.
	Paille.	1,0005	*b.*	54,2	52,6	1,6	3,94	0.39	R.
		0,9355	*b.*	54,2	52,7	1,5	3,69	0.39	R.
	Racines (avec sable)	10,4852	*a.*	20,0	19,5	0,5	0,03	—	R.
		10,4330	*a.*	20,0	19,5	0,5	0,03	—	R.
36 et 37 réunis.	Grains.	1,4188	*b.*	54,2	46,3	7,8	19,44	1.37	R.
	Balles.	1,3607	*b.*	54,2	47,2	7,0	17,23	1.27	R.
	Paille.	1,2595	*b.*	54,2	52,3	1,9	4,68	0.37	R.
		1,0377	*b.*	54,2	52,6	1,6	3,93	0.37	R.
	Racines (avec sable)	10,9880	*e.*	65,7	63,9	1,8	3,66	—	R.
		10,6527	*a.*	20,0	19,5	0,5	3,34	—	R.
38	Grains.	1,3210	*b.*	54,2	46,8	7,4	18,21	1.38	R.
	Balles.	0,5168	*b.*	54,2	51,7	2,5	6,15	1.20	R.
	Paille.	1,1220	*b.*	54,2	52,7	1,5	3,69	0.33	R.
	Racines (avec sable)	9,4978	*e.*	65,7	62,8	2,9	5,89	—	R.
		10,0562	*a.*	20,0	19,0	1,0	6,67	—	R.
40 et 41 réunis.	Grains.	1,5157	*b.*	54,2	46,1	8,1	19,93	1.32	R.
		1,2715	*b.*	54,2	47,4	6,8	16,74	1.32	R.
	Balles.	0,5925	*b.*	54.2	51,4	2,8	6,89	1.16	R.
	Paille.	1,3209	*b.*	54,2	52,3	1,9	4,68	0.35	R.
		1,1133	*e.*	65,7	63,9	1,8	3,66	0.33	R.
	Racines (avec sable)	10,1124	*a.*	20,0	19,5	0,5	3,34	—	R.
		10,9762	*e.*	65,7	64,1	1,6	3,25	—	R.
42 et 43 réunis.	Grains.	1,1814	*b.*	54,2	47,8	6,4	15,75	1 33	R.
		1,4030	*b.*	54,2	46,6	7,6	18,70	1.33	R.
	Balles.	0,2978	*b.*	54,2	52,8	1,4	3,45	1.16	R.
	Paille.	1,1042	*b.*	54,2	52,8	1,4	3,45	0.31	R.
	Racines (avec sable)	10,0682	*a.*	20,0	19,3	0,7	4,67	—	R.
		10,8735	*e.*	65,7	63,5	2,2	4,67	—	R.
45	Plante entière . . .	»	*a.*	20,0	19,3	0,7	4,67	—	R.
46	Plante entière. . .	»	*a.*	20,0	19,2	0,8	5,34	—	R.

C. — Suivant la méthode de Kjeldahl-Wilfarth.

20^{cmc} H^2SO^4 — { 1 = 0^{gr},1355 Az. 3 = 0^{gr},1359 Az.
{ 2 = 0 ,1353 — 4 = 0 ,1303 —

Liqueurs titrées.

f. 60^{cmc},00 $H^4Az(OH)$ = 20 cmc. H^2SO^4 — 1 cmc. $H^4Az(OH)$ = 0^{gr},00226 Az.
g. 55 ,50 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00243 Az.
h. 54 ,98 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00245 Az.
i. 40 ,20 $Ba(OH)^2$ = 20 — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH^2)$ = 0 ,00343 Az.
k. 42 ,20 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00320 Az.
m. 39 ,55 $Ba(OH)^2$ = 20 — H^2SO^4 — 1 — $Ba(OH)^2$ = 0 ,00338 Az.
n. 55 ,00 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00247 Az.
o. 51 ,20 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00266 Az.
p. 51 ,00 NaOH = 20 — H^2SO^4 — 1 — NaOH = 0 ,00267 Az.
r. 53 ,20 NaOH = 20 — H^2SO^5 — 1 — NaOH = 0 ,00245 Az.

On a mesuré tantôt 20 cent. cubes, tantôt 10 cent. cubes H^2SO^4.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				ORGE 1884.					
15	Grains	0,7540	g.	55,50	49,78	5,72	13,89	1.84	Wm.
		0,9672	m.	40,35[1]	35,10	5,25	17,72	1.83	Wf.
	Balles	0,9330	g.	55,50	53,15	2,35	5,71	0.61	Wm.
	Paille	1,4630	g.	55,50	52,05	3,45	8,38	0.57	Wm.
		1,9068	m.	39,55	36,20	3,35	11,31	0.59	Wf.
	Racines[2]	1,5385	g.	55,50	50,20	5,30	12,88	0.84	Wm.
17 et 18 réunis.	Grains	1,7997	g.	55,50	44,30	11,20	27,21	1.51	Wm.
	Balles	1,6610	g.	55,50	52,00	3,50	8,50	0.51	Wm.
	Paille	1,5200	g.	55,50	52,60	2,90	7.04	0.46	Wm.
		0,7155	h.	54,98	53,70	1,28	3,15	0.44	Wm.
	Racines	1,8688	g.	55,50	50,30	5,20	12,63	0.68	Wm.
20	Grains	0,9365	g.	55,50	50,30	5,20	12,63	1.35	Wm.
	Balles	0,8920	g.	55,50	53,85	1,65	3,89	0.44	Wm.
	Paille	1,3495	g.	55,50	53,60	1,90	4,62	0.34	Wm.
		1,8900	m	39,55	37,60	1,95	6,58	0.35	Wf.
	Racines	1,1505	g.	55,50	52,40	3,10	7,53	0.66	Wm.
21 et 22 réunis.	Grains	0,9500	g.	55,50	50,38	5,12	12,44	1.31	Wm.
	Balles	0,6320	g.	55,50	54,30	1,20	2,91	0.46	Wm.
	Paille	2,1980	g.	55,50	52,10	3,40	8,26	0.38	Wm.
	Racines	1,6935	g.	55,50	51,50	4,00	9,72	0.57	Wm.
23	Semence	0,7385	g.	55,50	52,10	3,40	8,26	1.12	Wm.
	Balles	0,2450	g.	55,50	55,00	0,50	1,21	0.49	Wm.
	Paille	1,0772	g.	55,50	54,00	1,50	3,64	0.34	Wm.
	Racines	0,6370	g.	55,50	53,98	1,52	3,69	0.58	Wm.
				ORGE 1886.					
26	Grains	1,3700	h.	54,98	48,00	6,98	17,13	1.25	Wm.
	Balles. Paille	0,8270	h.	54,98	53,60	1,38	3,39	0.41	Wm.
27	Grains	0,7262	g.	27,75	23,62	4,13	10,03	1.38	Wm.
	Balles. Paille	0,6440	g.	27,75	27,00	0,75	1,82	0.28	Wm.
29	Plante entière	0,3140	g.	27,75	26,80	0,95	2,27	0.66	Wm.
30	Plante entière	0,4074	g.	27,75	27,02	0,73	1,75	0.43	Wm.

1. On avait mesuré $20^{cmc},4$ H^2SO^4.
2. Chaque fois qu'a été employée la méthode du Kjeldahl, la quantité indiquée comme soumise à l'analyse ne comprend pour les racines que de la matière végétale pure. Pour l'obtenir, on introduisait une quantité déterminée de la masse radicale avec le sable qu'elle contenait, dans le *Zersetzungskolben*, puis l'opération terminée, le sable était séparé par un lessivage et pesé à nouveau.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100	
				AVOINE 1884.					
47 et 49 réunis.	Grains	0,8580	*h.*	54,98	50,40	4,58	11,38	1.31	Wm.
	Balles	1,0630	*f.*	60,00	55,30	4,70	10,63	1.00	Wm.
	Paille	2,0050	*f.*	60,00	57,80	2,20	4,97	0.25	Wm.
		2,1325	*f.*	60,00	57,80	2,20	4,97	0.23	Wm.
	Racines	1,0070	*f.*	60,00	57,80	2,20	4,97	0.49	Wm.
50 et 51 réunis.	Grains	0,7315	*h.*	54,98	51,20	3,78	9,31	1.27	Wm.
	Balles	0,5905	*f.*	60,00	57,80	2,20	4,98	0.84	Wm.
	Paille	1,1355	*h.*	54,98	53,82	1,16	2,86	0.25	Wm.
	Racines	0,8385	*f.*	60,00	58,20	1,80	4,07	0.49	Wm.
53 et 55 réunis.	Grains	2,5675	*i.*	40,20	34,60	5,60	19,21	1.23	Wf.
		1,4345	*i.*	40,20	34,80	5,40	18,72	1.29	Wf.
	Balles	0,2880	*f.*	60,00	59,10	0,90	2,04	0.71	Wm.
	Paille	1,9410	*f.*	60,00	58,00	2,00	4,52	0.23	Wm.
	Racines	1,2605	*g.*	55,50	52,80	2,70	6,56	0.52	Wm.
				AVOINE 1885.					
56	Grains	0,7900	*h.*	54,98	50,43	4,55	10,22	1.42	Wm.
	Balles. Paille	0,6120	*g.*	27,75	27,00	0,75	1,77	0.29	Wm.
58	Grains	0,7578	*h.*	54,98	50,88	4,10	10,08	1.33	Wm.
	Balles. Paille	0,4848	*g.*	27,75	27,23	0,52	1,26	0.26	Wm.
60	Plante entière	0,3060	*g.*	27,75	26,70	1,05	2,54	0.83	Wm.
61	Plante entière	0,3670	*g.*	27,75	26,20	1,55	3,74	1.02	Wm.
				POIS 1883.					
66	Grains	2,0000	*f.*	60,00	34,30	25,70	58,13	2.91	Wm.
	Balles. Paille	2,0000	*f.*	60,00	54,10	5,90	13,35	0.67	Wm.
	Racines	0,2510	*g.*	27,75	25,05	2,70	6,56	2.61	Wm.
67	Grains	1,5000	*f.*	60,00	38,90	21,10	47,73	3.18	Wm.
	Balles. Paille	2,0000	*f.*	60,00	51,85	8,15	18,44	0.92	Wm.
	Racines	0,4569	*g.*	27,75	22,70	5,05	12,27	2.68	Wm.
71	Grains	1,5000	*f.*	60,00	43,40	16,60	37,55	2.51	Wm.
	Balles. Paille	2 0000	*f.*	60,00	54,00	6,00	13,57	0.68	Wm.
	Racines	0,2535	*h.*	54,98	52,10	2,88	7,09	2.79	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	

POIS 1883 (*suite*).

72	Grains.	1,0955	*g.*	55,50	43,10	12,40	30,12	2.75	Wm.
	Balles.	0,3330	*g.*	55,50	54,70	0,80	1,94	0.58	Wm.
	Paille	1,6770	*g.*	55,50	43,35	12,15	29,51	1.77	Wm.
	Racines	0,3365	*h.*	27,49	22,95	4,54	11,18	3.32	Wm.
74	Grains.	0,6330	*f.*	60,00	52,20	7,80	17,64	2.78	Wm.
	Balles . . . . Paille.	2,0000	*f.*	60,00	52,50	7,50	16,96	0.85	Wm.
	Racines	0,2965	*h.*	54,98	51,64	3,34	8,22	2.77	Wm.
76	Grains. . . . . . . Balles. . . . . . . Paille.	1,7810	*f.*	60,00	50,60	9,40	21,26	1.19	Wm.
	Racines	0,2195	*g.*	27,75	25,65	2,10	5,10	2.32	Wm.
78	Grains.	1,2840	*f.*	60,00	46,40	13,60	30,76	2.39	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	2,3685	*f.*	60,00	51,50	8,50	19,23	0.81	Wm.
	Racines	0,4651	*g.*	27,75	21,90	2,85	6,92	1.49	Wm.
79	Grains.	1,5190	*f.*	60,00	44,50	15,59	35,06	2 31	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille.	1,9330	*f.*	60,00	50,30	9,70	21,94	1.14	Wm.
	Racines	0,2350	*g.*	27,75	24,90	2,85	6,92	2.94	Wm.

POIS 1884.

80	Grains.	0,6225	*g.*	27,75	17,10	10,65	25,87	4.15	Wm.
	Balles.	0,5140	*g.*	27,75	26,41	1,34	3,26	0.63	Wm.
	Paille	0,8110	*g.*	27,75	25,15	2,60	6,32	0.78	Wm.
	Racines	0,2765	*g.*	27,75	25,40	2,35	5,71	2.06	Wm.
81	Grains.	0,5755	*g.*	27,75	19,65	8,10	19,68	3.42	Wm.
	Balles.	0,5050	*g.*	27,75	26,70	1,05	2,55	0.51	Wm.
	Paille	0,7210	*g.*	27,75	24,50	3,25	7,89	1.09	Wm.
	Racines	0,6764	*g.*	27,75	22,60	5,15	12,51	1.85	Wm.
83	Grains.	0,7220	*g.*	27,75	18,30	9,45	21,15	2.93	Wm.
	Balles.	0,5175	*g.*	27,75	26,50	1,25	3,04	0.59	Wm.
	Paille.	0,7640	*g.*	27,75	24,00	3,75	9,11	1.19	Wm.
84	Grains.	0,8655	*g.*	27,75	16,40	10,35	27,57	3.18	Wm.
	Balles.	0,4578	*g.*	27,75	26,85	0,90	2,19	0.48	Wm.
	Paille	0,7910	*g.*	27,75	24,90	2,85	6,92	0.87	Wm.
	Racines	0,2745	*g.*	27,75	25,10	2,65	6,44	2.35	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				POIS 1884 (*suite*).					
85	Grains	0,5860	*g.*	55,50	46,90	8,60	20,89	3.57	Wm.
	Balles. Paille	2,0650	*f.*	60,00	50,30	9,70	21,94	1.06	Wm.
	Racines	0,3925	*g.*	27,75	23,30	4,45	10,81	2.75	Wm.
87	Grains	0,7170	*g.*	27,75	16,50	11,25	27,33	3.81	Wm.
	Balles	0,5543	*g.*	27,75	26,20	1,55	3,77	0.68	Wm.
	Paille	0,9335	*g.*	27,75	23,20	4,55	11,05	1.18	Wm.
	Racines	0,3240	*g.*	27,75	24,35	3,40	8,26	2.55	Wm.
89	Grains	1,0095	*f.*	60,00	43,10	16,90	38,23	3.79	Wm.
	Balles. Paille	1,7937	*f.*	60,00	49,00	11,00	24,88	1.38	Wm.
	Racines	0,3965	*g.*	27,75	23,90	3,85	9,35	2.36	Wm.
90	Grains	0,7442	*g.*	55,50	41,80	13,70	33,28	4.47	Wm.
	Balles. Paille	1,9435	*k.*	42,20	32,95	9,25	29,58	1.52	Wm.
	Racines	0,6020	*g.*	27,75	20,25	7,50	18,22	3.02	Wm.
91	Grains	0,8915	*g.*	27,75	17,35	10,40	25,24	2.83	Wm.
	Balles	0,4625	*h.*	27,50	26,60	0,90	2,22	0.47	Wm.
	Paille	1,0465	*g.*	27,75	23,05	4,70	11,42	1.09	Wm.
	Racines	0,3059	*g.*	27,75	25,30	2,45	5,95	1.94	Wm.
				POIS 1885.					
94	Grains	1,5770	*i.*	40,20	18,50	21,70	74,43	4.72	Wf.
		1,4090	*i.*	40,20	21,10	19,10	65,51	4.65	Wf.
	Balles	1,9340	*i.*	40,20	34,20	6,00	20,58	1.06	Wf.
	Paille	1,8250	*i.*	40,20	34,40	5,80	19,89	1.09	Wf.
	Racines	0,6195	*g.*	55,50	46,49	9,10	22,10	3.58	Wm.
95	Semence	0,8557	*g.*	27,75	12,50	15,25	37,05	4.33	Wm.
	Balles	0,8385	*g.*	27,75	25,83	1,92	4,69	0.56	Wm.
	Paille	0,5095	*g.*	27,75	25,00	2,75	6,67	1.31	Wm.
	Racines	0,5180	*g.*	27,75	21,20	6,55	14,90	3.07	Wm.
98	Grains	1,1470	*i.*	40,20	28,00	12,20	41,85	3.65	Wf.
		2,0380	*i.*	40,20	18,30	21,90	75,12	3.68	Wf.
	Balles	1,7370	*i.*	40,20	37,00	3,20	10,98	0.63	Wf.
	Paille	1,8940	*i.*	40,20	36,60	3,60	12,35	0.65	Wf.
	Racines	0,6055	*g.*	55,50	49,42	6,08	14,77	2.44	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				POIS 1885 (*suite*).					
102	Grains.	0,6681	*g.*	27,75	15,82	11,98	28,93	4.33	Wm.
	Balles.	0,6895	*g.*	27,75	25,90	1,85	4,49	0.65	Wm.
	Paille.	0,5078	*g.*	27,75	24,04	3,71	9,01	1.77	Wm.
	Racines	0,2840	*g.*	55,50	53,45	2,05	4,98	1.75	Wm.
104	Grains.	0,5120	*g.*	27,75	20,05	7,70	18,70	3.65	Wm.
	Balles.	0,2636	*g.*	27,75	26,80	0,95	2,31	0.87	Wm.
	Paille	0,4270	*g.*	27,75	25,10	2,65	6,49	1.50	Wm.
	Racines	0,3482	*g.*	27,75	25,15	2,60	6.32	1.82	Wm.
105	Grains.	1,7270	*i.*	40,20	13,40	26,80	91,92	5.32	Wf.
		1,3260	*i.*	40,20	19,60	20,60	70,66	5.33	Wf.
	Balles.	1,9620	*i.*	40,20	26,15	14,05	48,19	2.46	Wf.
	Paille	1,5870	*i.*	40,20	28,70	11.50	39,44	2.49	Wf.
	Racines	0,8280	*g.*	55,50	41,10	14,40	34,98	4.22	Wm.
		0,7620	*k.*	27,49	13,64	13,85	34,10	4.47	Wm.
108	Grains.	0,9015	*g.*	27,75	11,70	16,05	38,99	4.32	Wm.
	Balles.	0,7001	*g.*	27,75	26,20	1,55	3,77	0.54	Wm.
	Paille	0,6030	*g.*	27,75	24,70	3,05	7,41	1.23	Wm.
	Racines	0,6195	*g.*	55,50	50,70	4,80	10,66	1.72	Wm.
109	Grains.	1,2625	*i.*	40,20	21,80	18,40	63,11	5.00	Wf.
		1,6635	*i.*	40,20	15,80	24,40	83,69	5.03	Wf.
	Balles.	1,6900	*i.*	40,20	34,60	5,60	19,21	1.14	Wf.
	Paille.	2,0555	*i.*	40,20	33,40	6,80	23,32	1.13	Wf.
	Racines	0,6340	*g.*	27,75	20,45	7,30	16,42	2,59	Wm.
111	Grains.	1,4040	*i.*	40,20	24,50	15,70	53,85	3.83	Wf.
		1,7820	*i.*	40,20	20,60	19,60	67,23	3.77	Wf.
	Balles.	1,9280	*i.*	40,20	36,20	4,00	13,72	0.71	Wf.
	Paille	1,7775	*i.*	40,20	36,40	3,80	13,03	0.73	Wf.
	Racines	0,4695	*g.*	27,75	24,30	3,45	8,38	1.78	Wm.
112	Grains.	1,4140	*i.*	40,20	22,50	17,70	60,71	4.20	Wf.
		1,7540	*i.*	40,20	18,60	21,60	74,09	4.22	Wf.
	Balles.	2,0330	*i.*	40,20	34,80	5,40	18,52	0.91	Wf.
	Paille	1,6777	*i.*	40,20	35,60	4,60	15,78	0 94	Wf.
	Racines	0,4107	*g.*	55,50	52,01	3,49	8,46	2.06	Wm.
113	Grains.	1,6658	*h.*	54,98	28,90	26,08	64,21	3.86	Wm.
	Balles.	0,5785	*h.*	54,98	53,60	1,38	3,40	0.58	Wm.
	Paille	0,6580	*g.*	27,75	24,40	3,35	7,63	1.16	Wm.
	Racines	0,4343	*g.*	27,75	24,00	3,75	9,11	2.09	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité con-sommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				POIS 1885 (*suite*).					
115	Grains	0,3292	*g.*	27,75	22,30	5,45	13,24	4.02	Wm.
	Balles	0,3880	*g.*	27,75	25,70	2,05	4,98	1.28	Wm.
	Paille	0,2100	*g.*	27,75	26,55	1,20	2,92	1.39	Wm.
	Racines	0,2362	*g.*	55,50	54,00	1,50	3,64	1.54	Wm.
Employés à l'ensemencement	Grains	2,0275	*h.*	54,98	22,20	32,78	80,69	3.98	Wm.
		1,2360	*h.*	54,98	34,82	20,16	49,56	4.01	Wm.
				ORGE 1886					
119	Grains	1,1440	*p.*	25,50	20,50	5,00	13,33	1.17	Wm.
	Balles, Paille	1,4630	*n.*	55,00	52,25	2,75	7,79	0.53	Wm.
121	Grains	2,1140	*n.*	55,00	46,21	8,79	21,71	1.02	Wm.
	Balles, Paille	1,5085	*n.*	55,00	52,50	2,50	7,17	0.48	Wm.
122	Balles, Paille	0,3095	*n.*	27,50	26,60	0,90	2,22	0.72	Wm.
123	Grains	0,0320	*o.*	25,60	25,30	0,30	0,80	2.49	Wm.
	Balles, Paille	0,4935	*n.*	27,50	26,25	1,25	3,09	0.63	Wm.
				AVOINE 1886					
124	Grains	1,2785	*n.*	55,00	48,18	6,82	16,85	1.32	Wm.
	Balles, Paille	1,3910	*n.*	27,50	25,00	2,50	6,18	0.44	Wm.
126	Grains	1,9910	*n.*	27,50	17,80	9,70	23,96	1.20	Wm.
	Balles, Paille	1,9010	*n.*	55,00	52,40	2,60	6,42	0.34	Wm.
128	Balles, Paille	0,2680	*n.*	27,50	26,80	0,70	1,73	0.65	Wm.
129	Grains, Balles, Paille	0,2925	*n.*	27,50	26.90	0,60	1,48	0.57	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité con-sommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	AVOINE 1887								
214	Grains.	0,0670	*n.*	27,50	27,18	0,32	0,79	1.18	Wm.
	Balles.	0,0260	*n.*	27,50	27,35	0,15	0,37	1.42	Wm.
	Paille	0,4960	*n.*	27,50	26,08	1,42	3,51	0.71	Wm.
	Racines	0,3193	*n.*	27,50	26,67	0,83	2,05	0.64	Wm.
215	Grains.	0,0350	*n.*	27,5)	27,38	0,12	0,29	0.85	Wm.
	Balles.	0,0600	*n.*	27,50	27,30	0,20	0,49	0.82	Wm.
	Paille	0,5080	*n.*	27,50	26,26	1,24	3,06	0.60	Wm.
	Racines	0,3763	*n.*	27,50	26,50	1,00	2,47	0.66	Wm.
216	Grains.	0,0480	*n.*	27,50	27,15	0,35	0,86	1.80	Wm.
	Balles.	0,0940	*n.*	27,50	27,10	0,40	0,99	1.05	Wm.
	Paille	0,5170	*n.*	27,50	26,37	1,13	2,79	0.54	Wm.
	Racines	0,3205	*n.*	27,50	26,68	0,82	2,03	0.63	Wm.
217	Grains.	0,1580	*n.*	27,50	26,49	1,01	2,49	1.58	Wm.
	Balles.	0,0690	*n.*	27,50	27,28	0,22	0,54	0.79	Wm.
	Paille	0,5110	*n.*	27,50	26,65	0,85	2,10	0.41	Wm.
	Racines	0,3424	*n.*	27,50	26,90	0,60	1,42	0.43	Wm.
218	Grains.	0,1450	*n.*	27,50	26,68	0,82	2,03	1.39	Wm.
	Balles.	0,0610	*n.*	27,50	27,33	0,17	0,42	0.69	Wm.
	Paille	0,4520	*n.*	27,50	26,70	0,80	1,97	0.44	Wm.
	Racines	0,6545	*n.*	27,59	26,53	0,97	2,40	0.37	Wm.
219	Grains.	0,0920	*n.*	27,50	26,85	0,65	1,61	1.74	Wm.
	Balles.	00,79)	*n.*	27,50	27,21	0,29	0,72	0.91	Wm.
	Paille	0,4970	*n.*	27,50	26,42	1,08	2,67	0.54	Wm.
	Racines	0,2726	*n.*	27,50	26,90	0,60	1,42	0.54	Wm.
220	Grains.	1,3760	*n.*	27,5)	18,73	8,77	21,66	1.57	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	1,1898	*n.*	27,50	25,68	1,82	4,49	0.38	Wm.
	Racines	0,6346	*n.*	27,50	25,95	1,55	3,83	0.60	Wm.
221	Grains.	1,5270	*n.*	27,50	18,25	9,25	22,85	1.49	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	1,2805	*n.*	27,50	25,80	1,70	4,19	0.33	Wm.
	Racines	0,7812	*n.*	27,50	26,20	1,30	3,21	0.41	Wm.
222	Grains.	1,2140	*n.*	27,50	21,00	6,50	16,05	1.32	Wm.
	Balles.	0,6380	*n.*	27,50	25,41	2,09	5,16	0.81	Wm.
	Paille	1,5210	*n.*	27,50	26,28	1,22	3,01	0.19	Wm.
	Racines	0,9398	*n.*	27,50	25,42	2,08	5,14	0.55	Wm.
223	Grains.	1,1565	*n.*	27,50	21,03	6,47	15,98	1.38	Wm.
	Paille	1,7455	*n.*	27,50	25,70	1,80	4,45	0.25	Wm.
	Racines	0,5360	*n.*	27,50	26,25	1,25	3,09	0.58	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité con-sommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	AVOINE 1887 (*suite*).								
224	Grains	1,2260	*n.*	27,50	19,70	7,80	19,27	1.57	Wm.
	Balles. Paille	1,0359	*n.*	27,50	26,10	1,40	3,46	0.33	Wm.
	Racines	1,0097	*n.*	27,50	25,42	2,08	5,14	0.51	Wm.
225	Grains	1,2970	*n.*	27,50	19,85	7, 5	18,89	1.46	Wm.
	Balles. Paille	1,1250	*n.*	27,50	26,10	1,40	3,46	0 31	Wm.
	Racines	0,7969	*n.*	27,50	25,80	1,70	4,20	0.53	Wm.
226	Grains	1,2570	*n.*	27,50	18,80	8,70	21,49	1.71	Wm.
	Balles	1,0620	*n.*	27,50	24,02	3,48	8,59	0.81	Wm.
	Paille	1,7360	*n.*	27,50	25,90	1,60	3,95	0 23	Wm.
	Racines	0,7108	*n.*	27,50	26,10	1,40	3,46	0.49	Wm.
227	Grains	1,1313	*n.*	27,50	20,60	6,90	17,04	1.50	Wm.
	Balles	0,6505	*n.*	27,50	25,30	2,20	5,43	0.84	Wm.
	Paille	1,4170	*n.*	27,50	26,05	1,45	3,58	0.25	Wm.
	Racines	0,9689	*o.*	25,60	23,30	2,30	6,11	0.63	Wm.
228	Grains	1,0655	*n.*	27,50	20,95	6,55	16,18	1.51	Wm.
	Balles. Paille	1,1280	*n.*	27,50	26,01	1,49	3,68	0.32	Wm.
	Racines	0,7317	*n.*	27,50	26,02	1,48	3,65	0.50	Wm.
229	Grains	1,3730	*n.*	27,50	19,21	8,29	20,48	1.49	Wm.
	Balles. Paille	0,9550	*n.*	27,50	26,10	1,40	3,46	0.36	Wm.
	Racines	0,9165	*n.*	27,50	25,70	1,80	4,45	0.47	Wm.
230	Grains	1,2 95	*n.*	27,50	20,91	7,16	18,87	1.47	Wm.
	Balles	0,5335	*n.*	27,50	24,90	2,60	6,42	1.20	Wm.
	Paille	1,4095	*n.*	27,50	25,98	1,52	3,75	0.27	Wm.
	Racines	1,3235	*n.*	55,00	52,45	2,55	6,10	0.46	Wm.
231	Grains	1,2745	*n.*	27,50	20,48	7,02	17,34	1.36	Wm.
	Balles	1,0320	*n.*	27,50	23,99	3,51	8,67	0.84	Wm.
	Paille	1,2338	*n.*	27,50	26,48	1,02	2,52	0.20	Wm.
	Racines	1,0770	*n.*	27,50	25,38	2,12	5,24	0.48	Wm.
232	Grains	0,2340	*n.*	27,50	25,78	1,72	4,25	1.81	Wm.
	Balles	0,0800	*n.*	27,50	27,22	0,28	0,69	0.86	Wm.
	Paille	0,6670	*n.*	27,50	26,34	1,16	2,86	0.43	Wm.
	Racines	0,5095	*n.*	27,50	26,25	1,25	3,09	0.61	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	AVOINE 1887 (*suite*).								
233	Grains.	0,2930	*n.*	27,50	25,60	1,90	4,69	1.60	Wm.
233	Balles.	0,0630	*n.*	27,50	27,30	0,20	0,49	0.78	Wm.
233	Paille	0,6900	*n.*	27,50	26,39	1,11	2,74	0.39	Wm.
233	Racines	0,5183	*n.*	27,50	26,28	1,22	3,01	0.58	Wm.
Employés à l'ensemencement.	Grains.	0,8390	*p.*	51,00	45,75	5,25	14,00	1.67	Wm.
	SARRASIN 1887								
234	Balles. . . . . . . Paille	0,0350	*p.*	25,50	25,10	0,40	1,07	3.05	Wm.
235	Grains.	0,0090	*p.*	25,50	25,35	0,15	0,40	4.44	Wm.
235	Balles. . . . . . . Paille	0,0510	*p.*	25,50	25,00	0,50	1,33	2.61	Wm.
236	Balles. . . . . . . Paille	0,0230	*p.*	25,50	25,08	0,42	1,12	4.87	Wm.
237	Balles. . . . . . . Paille	0,0400	*p.*	25,50	25,08	0,42	1,12	2.80	Wm.
238	Balles. . . . . . . Paille	0,0420	*p.*	25,50	25,10	0,40	1,07	2.54	Wm.
239	Grains.	0,0040	*p.*	25,50	25,42	0,08	0,21	5.33	Wm.
239	Balles. . . . . . . Paille	0,0610	*p.*	25,50	25,05	0,45	1,20	1.97	Wm.
240	Grains.	0,0830	*p.*	25,50	25,04	0,46	1,23	1.48	Wm.
240	Balles. . . . . . . Paille	0,1890	*p.*	25,50	24,77	0,73	1,95	1.03	Wm.
241	Grains.	0,0130	*p.*	25,50	25,38	0,12	0,32	2.46	Wm.
241	Balles. . . . . . . Paille	0,1440	*p.*	25,50	24,77	0,73	1,95	1.35	Wm.
Employés à l'ensemencement.	Grains.	1,1976	*p.*	51,00	42,73	8,27	22,05	1.84	Wm.
	SERRADELLE 1887								
242	Paille . . . . Racines	0,0920	*n.*	27,50	27,00	0,50	1,23	1.34	Wm.
243	Paille . . . . Racines	0,0625	*n.*	27,50	27,03	0,47	1,16	1.85	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	SERRADELLE 1887 (*suite*).								
244	Fruits	1,3475	*n.*	55,00	36,70	18,30	45,20	3.36	Wm.
	Paille	2,3568	*n.*	27,50	10,81	16,69	41,22	1.75	Wm.
	Racines	0,8711	*n.*	27,50	18,15	9,35	22,09	2.65	Wm.
245	Fruits	1,2885	*n.*	55,00	36,15	18,85	46,56	3.61	Wm.
	Paille	2,1142	*n.*	27,50	11,40	16,10	39,77	1.88	Wm.
	Racines	1,6165	*n.*	27,50	9,61	17,89	44,19	2.73	Wm.
246	Paille / Racines	0,0810	*n.*	27,50	27,10	0,40	0,99	1.18	Wm.
247	Paille / Racines	0,1090	*n.*	27,50	26,95	0,55	1,36	1.25	Wm.
248	Fruits	1,2725	*n.*	27,50	3,35	24,15	59,65	4.69	Wm.
	Paille	0,4110	*n.*	27,50	17,25	10,25	25,32	1.79	Wm.
	Racines	1,6910	*n.*	55,00	36,03	18,97	46,85	2.77	Wm.
249	Fruits	0,6551	*n.*	27,50	15,78	11,72	28,95	4.41	Wm.
	Paille	1,6636	*n.*	27,50	13,75	13,75	33,96	2.04	Wm.
	Racines	1,1890	*n.*	27,50	14,25	13,25	32,69	2.75	Wm.
250	Fruits	0,1790	*n.*	27,50	21,80	2,70	6,77	3.78	Wm.
	Paille	2,2179	*n.*	27,50	11,40	16,10	39,77	1.77	Wm.
	Racines	1,4[illegible]91	*n.*	27,50	12,48	15,02	37,10	2.58	Wm.
251	Paille	1,0617	*n.*	27,50	18,68	8,82	21,79	2.05	Wm.
	Racines	1,0590	*n.*	27,50	16,50	11,00	27,17	2.51	Wm.
252	Paille / Racines	0,0750	*n.*	27,50	27,08	0,42	1,03	1.38	Wm.
253	Paille / Racines	0,0545	*n.*	27,50	27,20	0,30	0,74	1.36	Wm.
254	Paille	1,9245	*n.*	27,50	20,80	6,70	16,55	0.86	Wm.
	Racines	0,5989	*n.*	27,50	24,19	3,31	8,18	1.37	Wm.
255	Paille	2,0780	*n.*	27,50	20,13	7,37	18,20	0 88	Wm.
	Racines	0,4348	*n*	27,5	25,18	2,32	5,73	1.32	Wm.
256	Fruits	0,2135	*n.*	27,50	25,70	1,80	4,24	1.94	Wm.
	Paille	1,7554	*n.*	27,50	20,55	6,95	17,17	0.97	Wm.
	Racines	0,2765	*p.*	25,50	23,88	1,62	4,32	1.56	Wm.
257	Paille	1,7278	*n.*	27,50	21,09	6,41	15,83	0.92	Wm.
	Racines	1,5315	*n.*	55,00	45,28	9,72	24,01	1.43	Wm.
258	Paille	2,6865	*n.*	27,50	13,35	14,15	34,95	1.30	Wm.
	Racines	1,1858	*n.*	27,50	15,60	11,90	29,39	2.48	Wm.
259	Paille	2,1196	*n.*	27,50	15,59	11,91	29,42	1.39	Wm.
	Racines	1,2073	*n.*	27,50	14,38	13,12	32,41	2.68	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	SERRADELLE 1887 (*suite*).								
260	Paille	1,6806	*n.*	27,50	18,10	9,40	23,22	1.38	Wm.
	Racines	0,7664	*n.*	27,50	19,65	7,85	19,39	2.53	Wm.
261	Paille	1,6310	*n.*	27,50	16,50	11,00	27,17	1.67	Wm.
	Racines	1,2929	*n.*	27,50	13,25	14,25	35,20	2.71	Wm.
262	Paille Racines	0,2090	*n.*	27,50	26,60	0,90	2,22	1.06	Wm.
263	Paille Racines	0,2715	*n.*	27,50	26,42	1,08	2,67	0.98	Wm.
264	Paille Racines	0,3160	*n.*	27,50	26,50	1,00	2,47	0.78	Wm.
265	Paille Racines	0,2970	*n.*	27,50	26,10	1,40	3,46	1.16	Wm.
266	Paille Racines	0,1350	*n.*	27,50	26,92	0,58	1,43	1.06	Wm.
267	Paille Racines	0,0920	*n.*	27,50	27,00	0,50	1,23	1.34	Wm.
268	Fruits	1,0135	*n.*	55,00	42,80	12,20	30,13	2.73	Wm.
	Paille	1,5140	*n.*	27,50	15,09	12,41	30,65	2.02	Wm.
	Racines	1,3895	*n.*	27,50	11,00	16,50	40,76	2.93	Wm.
269	Fruits	0,4810	*n.*	27,50	20,40	7,10	18,15	3.77	Wm.
	Paille	1,4975	*n.*	27,50	15,90	11,60	28,65	1.91	Wm.
	Racines	1,1578	*n.*	27,50	14,75	12,75	31,49	2.71	Wm.
270	Paille	0,6205	*n.*	27,50	24,95	2,55	6,30	1.02	Wm.
	Racines	0,7023	*n.*	27,50	22,70	4,80	11,86	1.69	Wm.
271	Fruits	0,0400	*n.*	27,50	27,04	0,46	1,14	2.84	Wm.
	Paille	1,4345	*n.*	27,50	22,70	4,80	11,86	0.83	Wm.
	Racines	0,5840	*p.*	25,50	22,07	3,43	9,14	1.56	Wm.
Employés à l'ensemencement.	Fruits	0,7404	*p.*	51,00	39,95	11,05	29,46	3.98	Wm.
	LUPINS 1887								
276	Grains	0,5301	*p.*	51,00	36,60	14,40	38,39	7.24	Wm.
	Balles	0,8470	*p.*	25,50	22,25	3,25	8,66	1.02	Wm.
	Paille	1,0820	*p.*	25,50	16,90	8,60	22,93	2.12	Wm.
	Racines	0,8425	*p.*	25,50	20,60	4,90	13,06	1.55	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité con-sommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				LUPINS 1887 (*suite*).					
277	Grains.	0,8524	*p.*	25,50	1,48	24,02	64,04	7.51	Wm.
	Balles.	1,0645	*p.*	25,50	23,50	2,00	5,33	0.50	Wm.
	Paille.	1,0355	*p.*	25,50	18,62	6,88	18,34	1.77	Wm.
	Racines	0,5555	*p.*	25,50	21,68	3,82	10,18	1.83	Wm.
281	Paille. . . . . . . Racines	0,5860	*p.*	25,50	20,90	4,60	12,26	2.09	Wm.
282	Paille. . . . . . . Racines.	0,3725	*p.*	25,50	21,10	4,40	11,73	3.15	Wm.
283	Grains.	1,1229	*p.*	51,00	26,25	24,75	65,98	5.88	Wm.
	Balles.	0,8116	*p.*	25,50	24,00	1,50	4,00	0.48	Wm.
	Paille	0,7922	*p.*	25,50	19,30	6,20	16,53	2.08	Wm.
	Racines	0,9010	*p.*	25,50	17,15	8,35	22,26	2.47	Wm.
284	Paille. . . . . . . Racines	0,8880	*p.*	25,50	15,83	9,67	25,78	2.90	Wm.
285	Paille . . . . Racines	0,9185	*f.*	29,95	23,50	6,45	14,60	1.59	M.
286	Paille. . . . . . . Racines	0,8000	*f.*	29,95	23,95	6,00	13,57	1.70	M.
287	Grains.	0,6770	*p.*	51,00	30,24	20,76	55,35	8.18	Wm.
	Paille . . . . Balles.	0,8850	*p.*	25,50	21,88	3,62	9,65	1.09	Wm.
	Racines	1,0551	*p.*	25,50	17,41	8,09	21,57	2.04	Wm.
288	Grains.	0,8005	*p.*	25,50	1,10	24,40	65,05	8.07	Wm.
	Paille . . . . Balles.	0,6918	*p.*	25,50	21,21	4,29	11,44	1.65	Wm.
	Racines	1,3652	*p.*	25,50	12,10	13,10	35,72	2.62	Wm.
289	Paille . . . . Racines	0,9210	*f.*	29,95	24,10	5,85	13,23	1.44	M.
290	Paille . . . . Racines	1,0210	*f.*	29,95	24,05	5,90	13,35	1.31	M.
291	Grains.	0,8065	*p.*	25,50	1,10	24,40	65,05	7.94	Wm.
	Paille . . . . Balles.	0,9594	*p.*	25,50	19,52	5,98	15,94	1.66	Wm.
	Racines	1,4714	*p.*	25,50	10,22	15,28	40,74	2.77	Wm.
292	Grains.	1,2285	*p.*	51,00	16,98	34,02	90,70	7.38	Wm.
	Paille . . . . Balles.	1,4411	*p.*	25,50	20,85	4,65	12,40	0.86	Wm.
	Racines	0,8690	*p.*	25,50	18,90	6,60	17,60	2.02	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits employés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR: Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	TITRE DE LA LIQUEUR: Quantité con-sommée.	TITRE DE LA LIQUEUR: Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				LUPINS 1887 (*suite*).					
307	Grains	0,6170	*p.*	25,50	7,65	17,85	47,59	7.71	Wm.
	Balles	1,2030	*p.*	25,50	23,82	1,68	4,48	0.37	Wm.
	Paille	0,8381	*p.*	25,50	20,88	4,62	12,32	1.42	Wm.
	Racines	0,6533	*p.*	25,50	20,75	4,75	12,66	1.94	Wm.
320	Grains	0,8090	*p.*	25,50	3,10	22,40	59,72	7.38	Wm.
	Balles	0,7411	*p.*	25,50	21,75	3,75	10,00	1.35	Wm.
	Paille	0,7334	*p.*	25,50	20,15	5,35	14,26	1.94	Wm.
	Racines	0,7995	*p.*	25,50	20,50	5,00	13,33	1.67	Wm.
321	Grains	0,8880	*p.*	25,50	0,40	25,10	66,92	7.54	Wm.
	Balles	1,1645	*p.*	25,50	21,82	3,68	9,81	0.84	Wm.
	Paille	0,7351	*p.*	25,50	19,82	5,68	15,14	2.06	Wm.
	Racines	0,6474	*p.*	25,50	21,66	3,84	10,24	1.58	Wm.
Employés à l'ensemencement.	Grains	0,8690	*p.*	25,50	3,17	22,33	59,53	6.85	Wm.
				POIS 1886					
130	Grains	1,0310	*f.*	60,00	39,90	20,10	45,39	4.39	Wm.
	Paille / Balles	1,8930	*f.*	60,00	47,30	12,70	28,77	1.52	Wm.
131	Grains	2,3775	*n.*	55,00	7,80	47,20	116,58	4.91	Wm.
	Paille / Balles	2,5565	*n.*	55,00	34,35	20,65	47,01	1.84	Wm.
135	Grains / Paille / Balles	0,9165	*n.*	55,00	46,30	8,70	21,49	2.34	Wm.
143	Grains / Paille / Balles	1,8160	*n.*	27,50	11,70	15,80	39,03	2.15	Wm.
144	Grains / Paille / Balles	1,2052	*n.*	27,50	16,18	11,32	27,96	2.32	Wm.
147	Grains	0,7800	*n.*	55,00	42,20	12,80	31,62	4.06	Wm.
	Balles / Paille	2,5500	*n.*	55,00	38,15	16,85	41,62	1.63	Wm.
155	Grains	2,7297	*n.*	55,00	6,55	48,45	119,67	4.38	Wm.
	Balles / Paille	2,2740	*n.*	55,00	41,98	13,02	32,16	1.41	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	POIS 1886 (*suite*).								
156	Grains.								
	Balles.	2,1280	*n.*	27,50	5,27	22,23	54,91	2.58	Wm.
	Paille								
158	Grains.	0,9815	*f.*	60,00	39,25	20,75	46,92	4.78	Wm.
	Balles.								
	Paille	2,0985	*f.*	60,00	48,90	11,10	24,97	1.19	Wm.
159	Grains.								
	Balles.	0,9267	*n.*	55,00	47,30	7,70	19,02	2.05	Wm.
	Paille								
160	Grains.	1,0930	*n.*	55,00	32,85	22,15	54,71	5.00	Wm.
	Balles.								
	Paille	1,9065	*n.*	55,00	44,62	10,38	25,64	1.35	Wm.
161	Grains.	1,0615	*f.*	60,00	39,00	21,00	47,45	4.47	Wm.
	Balles.								
	Paille	1,9830	*f.*	60,00	52,20	7,80	17,45	0.88	Wm.
165	Grains.	1,0290	*f.*	60,00	40,80	19,20	43,42	4.22	Wm.
	Balles.								
	Paille	2,1430	*f.*	60,00	47,20	12,80	28,72	1.34	Wm.
169	Grains.	2,4155	*n.*	55,00	9,90	45,10	111,39	4.61	Wm.
	Balles.								
	Paille	2,6530	*n.*	55,00	36,80	18,20	44,95	1.69	Wm.
170	Plante entière. . .	0,5150	*g.*	27,75	24,58	3,17	7,71	1.50	M.
171	Plante entière. . .	0,5588	*g.*	27,75	24,37	3,38	8,22	1.47	M.
	POIS 1887								
322	Paille	0,5430	*f.*	29,95	26,70	3,25	7,36	1.36	M.
	Racines	0,2360	*f.*	29,95	27,60	2,35	5,30	2.25	M.
323	Paille	0,4400	*f.*	29,95	27,15	2,80	6,34	1.44	M.
	Racines	0,3040	*f.*	29,95	27,20	2,75	6,22	2.05	M.
324	Paille.								
	Racines	0,9270	*o.*	25,60	20,30	5,30	14,07	1.52	Wm.
325	Grains.	1,4600	*o.*	51,20	21,30	29,90	79,34	5.44	Wm.
	Paille.								
	Balles.	1,1440	*p.*	25,50	18,88	6,62	17,65	1.54	Wm.
	Racines	0,4653	*p.*	25,50	21,28	4,22	11,25	2.42	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité con-sommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	POIS 1887 (*suite*).								
326	Grains.	0,9567	*o.*	25,60	5,15	20,45	54,30	5.68	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,6950	*p.*	25,50	19,90	5,60	14,93	2.15	Wm.
	Racines	0,6295	*p.*	25,50	19,85	5,65	15,06	2.39	Wm.
327	Grains.	1,3016	*o.*	51,20	25,50	25,70	68,23	5.24	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,8860	*p.*	25,50	18,90	6,60	17,60	1.99	Wm.
	Racines	0,2519	*p.*	25,50	22,59	2,91	7,76	3.08	Wm.
328	Paille	0,5790	*f.*	29,95	26,55	3,40	7,70	1.33	M.
	Racines	0,3190	*f.*	29,95	26,90	3,05	6,90	2.16	M.
329	Grains.	0,0165	*o.*	25,60	25,27	0,33	0,88	5.31	Wm.
	Balles.	0,0265	*o.*	25,60	25,31	0,29	0,77	2.91	Wm.
	Paille	0,5170	*f.*	29,95	26,90	3,05	6,90	1.33	M.
	Racines	0,2820	*f.*	29,95	27,60	2,35	5,32	1.89	M.
330	Paille . . . . Racines	0,7875	*o.*	25,60	20,90	4,70	12,48	1.58	Wm.
331	Grains.	1,1424	*o.*	25,60	3,60	22,00	58,41	5.11	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,7362	*p.*	25,50	20,00	5,50	14,66	1.99	Wm.
	Racines	1,2200	*f.*	29,95	14,00	15,95	36,10	2.96	M.
332	Grains.	2,1556	*o.*	51,20	17,50	33,70	89,47	4.15	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille.	0,6254	*p.*	25,50	21,95	3,55	9,46	1.51	Wm.
	Racines	0,6580	*f.*	29,95	17,80	12,15	27,50	2.99	M.
333	Grains.	1,2340	*o.*	25,60	0,45	25,15	66,77	5.41	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,9738	*p.*	25,50	18,54	6,96	18,53	1.90	Wm.
	Racines	0,9404	*p.*	25,50	14,21	11,29	30,10	3.20	Wm.
334	Grains.	1,6624	*o.*	51,20	26,88	24,32	64,57	3.88	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,6346	*p.*	25,50	23,14	2,36	6,29	0.99	Wm.
	Racines	0,5850	*f.*	29,95	20,60	9,35	21,20	3.62	M.
335	Grains.	1,3162	*o.*	51,20	34,88	16,32	43,33	3.29	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,5824	*p.*	25,50	23,82	1,68	4,48	0.77	Wm.
	Racines	0,8700	*f.*	29,95	21,60	8,35	18,90	1.17	M.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	POIS 1887 (*suite*).								
336	Grains.	1,7242	*o.*	51,20	28,95	22,25	59,07	3.43	Wm.
	Balles. Paille.	0,6666	*p.*	25,50	23,25	2,25	6,00	0.90	Wm.
	Racines	1,0930	*f.*	29,95	17,80	12,15	27,50	2.52	M.
337	Balles. Paille.	1,2196	*p.*	25,50	14,00	11,50	30,66	2.51	Wm.
	Racines	0,7239	*p.*	25,50	18,16	7,34	19,57	2.70	Wm.
338	Grains.	1,1486	*o.*	51,20	25,23	25,97	68,95	6.00	Wm.
	Balles. Paille.	0,7530	*p.*	25,50	19,35	6,15	16,40	2.18	Wm.
	Racines	0,7349	*p.*	25,50	17,58	7,92	21,12	2.87	Wm.
339	Grains.	0,4200	*o.*	25,60	19,02	6,58	17,47	4.16	Wm.
	Balles. Paille.	0,9266	*p.*	25,50	16,03	9,47	25,25	2.72	Wm.
	Racines	0,5983	*p.*	25,50	19,10	6,40	17,06	2.85	Wm.
340	Grains.	0,0175	*o.*	25,60	25,19	0,41	1,09	6.22	Wm.
	Balles. Paille.	1,0385	*p.*	25,50	16,27	9,23	24,61	2.37	Wm.
	Racines	0,5585	*p.*	25,50	20,18	5,32	14,18	2.54	Wm.
341	Grains.	0,5248	*o.*	25,60	15,03	10,57	28,06	5.35	Wm.
	Balles. Paille.	1,1120	*p.*	25,50	14,15	11,35	30,26	2.72	Wm.
	Racines	0,4210	*p.*	25,50	20,82	4,68	12,48	2.96	Wm.
342	Paille.	0,6540	*g.*	55,50	51,90	3,60	8,74	1.34	Wm.
	Racines	0,2646	*p.*	25,50	23,65	1,85	4,93	1.86	Wm.
343	Grains.	1,9063	*o.*	51,20	22,75	28,45	75,53	3.96	Wm.
	Balles. Paille.	2,3575	*g.*	55,50	46,50	9,00	21,86	0.93	Wm.
	Racines	0,3672	*p.*	25,50	22,90	2,60	6,93	1.89	Wm.
344	Grains.	0,6265	*o.*	25,60	20,02	5,58	14,82	2.23	Wm.
	Balles. Paille.	2,4762	*g.*	55,50	47,50	8,00	19,43	0.78	Wm.
	Racines	0,2811	*p.*	25,50	23,44	2,06	5,49	1.95	Wm.
345	Grains.	0,2280	*o.*	25,60	21,08	4,52	12,00	5.26	Wm.
	Balles. Paille.	1,0115	*p.*	25,50	19,65	5,85	15,60	1.54	Wm.
	Racines	0,2716	*p.*	25,50	22,85	2,65	7,07	2.67	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	POIS 1887 (*suite*).								
346	Grains.	0,1460	*o.*	25,60	23,41	2,19	5,81	3.98	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille.	1,0199	*p.*	25,50	23,00	2,50	6,67	0.65	Wm.
	Racines	0,5752	*p.*	25,50	19,68	5,82	15,52	2.70	Wm.
347	Paille	0,9481	*p.*	25,50	19,65	5,85	15,60	1.64	Wm.
	Racines	0,7048	*p.*	25,50	17,79	7,71	20,55	2.92	Wm.
348	Grains.	0,7915	*o.*	25,60	14,41	11,19	29,71	3.75	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,9900	*p.*	25,50	21,21	4,29	11,44	1.16	Wm.
	Racines	0,7694	*p.*	25,50	18,09	7,41	19,76	2.57	Wm.
349	Grains.	0,4633	*o.*	51,20	43,39	7,81	20,74	4.48	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	0,6705	*p.*	25,50	23,03	2,47	6,59	0.98	Wm.
	Racines	0,8684	*p.*	25,50	17,18	8,32	22,18	2.55	Wm.
350	Grains.	1,4665	*o.*	51,20	21,40	29,80	79,22	5.40	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	1,8418	*g.*	55,50	49,55	5,95	13,55	0.74	Wm.
	Racines	0,5395	*p.*	25,50	22,35	3,15	8,40	1.56	Wm.
351	Grains.	0,4675	*o.*	25,60	21,15	4,45	11,81	2.53	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	2,0930	*g.*	55,50	48,70	6,80	16,52	0.79	Wm.
	Racines	0,6548	*p.*	25,50	20,81	4,69	12,50	1.91	Wm.
352	Paille	1,1564	*p.*	25,50	16,22	9,28	24,74	2.14	Wm.
	Racines	0,7058	*p.*	25,50	19,03	6,47	17,25	2.44	Wm.
353	Grains.	0,2125	*o.*	25,60	21,30	4,30	11,42	5.37	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	1,0685	*p.*	25,50	17,33	8,17	12,78	1.20	Wm.
	Racines	0,4393	*p.*	25,50	21,52	3,98	10,61	2.42	Wm.
354	Paille	0,9374	*p.*	25,50	18,05	7,45	19,86	2.12	Wm.
	Racines	0,5562	*p.*	25,50	20,14	5,36	14,29	2.57	Wm
355	Grains.	0,5935	*o.*	25,60	14,50	11,10	29,47	4.97	Wm.
	Balles. . . . . . . Paille	1,1710	*p.*	25,50	19,90	5,60	14,95	1.28	Wm.
	Racines	0,5838	*p.*	25,50	19,99	5,51	14,69	2.52	?
356	Paille	0,9540	*f.*	29,95	25,30	4,65	10,52	1.10	M.
	Racines	0,3850	*f.*	29,95	26,05	3,90	8,82	2.29	M.
357	Paille	0,9400	*g.*	55,50	50,81	4,69	11,39	1.21	Wm.
	Racines	0,3683	*p.*	25,50	22,90	2,60	6,93	1.88	Wm.

NUMÉROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
				POIS 1887 (*suite*).					
358	Paille. Racines	1,2645	*o.*	25,60	18,21	7,39	19,62	1.55	Wm.
359	Balles	0,0270	*o.*	25,60	25,38	0,22	0,58	2 15	Wm.
	Paille	0,6870	*f.*	29,95	25,70	4,25	9,62	1.38	M.
	Racines	0,3300	*f.*	29,95	26,45	3,50	7,92	2.40	M.
360	Paille	0,7280	*f.*	29,95	25,90	4,05	9,17	1.26	M.
	Racines	0,3430	*f.*	29,95	27,10	2,85	6,35	1.85	M.
361	Paille. Racines	1,1545	*o.*	25,60	19,41	6,19	16,13	1.42	Wm.
362	Paille. Racines	0,8406	*p.*	25,50	20,80	4,70	12,53	1.49	Wm.
363	Grains	1,7060	*o.*	51,20	30,48	20,72	55,01	3.22	Wm.
	Balles. Paille	0,6490	*p.*	25,50	21,76	3,74	9,97	1.05	Wm.
364	Grains	1,3876	*o.*	51,20	29,50	21,70	57,72	4.46	Wm.
	Balles. Paille	1,1804	*p.*	25,50	20,80	4,70	12,53	1.06	Wm.
	Racines	0,2983	*p.*	25,50	22,61	2,89	7,70	2.58	Wm.
365	Grains	0,8990	*o.*	51,20	41,91	9,2[illegible]	24,59	2.73	Wm.
	Balles. Paille	1,5725	*o.*	25,60	19,39	6,21	16,49	1.05	Wm.
	Racines	0,3530	*o.*	25,60	22,88	2,72	7,22	2.05	Wm.
366	Grains	0,6185	*o.*	25,60	19,83	5,77	15,32	2.48	Wm.
	Balles. Paille	2,6270	*g.*	55,50	48,45	7,05	17,12	0.65	Wm.
	Racines	0,7190	*p.*	25,50	20,71	4,79	12,77	1.78	Wm.
367	Grains	0,4865	*o.*	25,60	21,48	4,12	10,94	2.25	Wm.
	Balles. Paille	2,6802	*g.*	55,50	48,20	7,30	17,73	0.66	Wm.
	Racines	0,5710	*p.*	25,50	22,28	3,22	8,58	1.50	Wm.
368	Grains	1,1705	*o.*	25,60	14,85	10,75	28,54	2.44	Wm.
	Balles. Paille	0,6732	*p.*	25,50	23,81	1,69	4,51	0.67	Wm.
	Racines	0,7528	*p.*	25,50	19,70	5,80	15,46	2.05	Wm.
369	Grains	1,3435	*o.*	25,60	13,30	12,30	32,66	2.43	Wm.
	Balles. Paille	0,6920	*p.*	25,50	23,60	1,90	5,07	0.73	Wm.
	Racines	0,4689	*p.*	25,50	22,40	3,10	8,26	1.76	Wm.

NUMEROS des vases.	NATURE des produits analysés.	POIDS de la substance sèche employée.		TITRE DE LA LIQUEUR. Rapport avec H^2SO^4 indiqué ci-dessus.	Quantité consommée.	Reste.	AZOTE.		ANALYSTES.
		Gr.		Cm. c.	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	P. 100.	
	POIS 1887 (*suite*).								
370	Grains	0,8650	*o.*	51,20	34,37	16,83	44,68	5.17	Wm.
370	Balles. Paille	1,0425	*p.*	25,50	20,10	5,40	14,40	1.38	Wm.
370	Racines	0,3592	*p.*	25,50	22,39	3,11	8,29	2.31	Wm.
371	Paille	0,1550	*p.*	25,50	16,93	8,57	22,85	1.98	Wm.
371	Racines	0,5990	*p.*	25,50	18,88	6,62	17,65	2.95	Wm.
Employés à l'ensemencement.	Grains	1,7040	*g.*	55,50	27,60	27,38	67,41	3.96	Wm.
	POIS 1886 (élevés sous cloches. Cfr. p. 297).								
163	Balles. Paille	2,0230	*f.*	60,00	37,00	23,00	51,99	2.57	Wm.
163	Racines	0,7648	*n.*	27,50	17,50	10,00	24,70	3.23	Wm.
164	Balles. Paille	1,9890	*f.*	60,00	40,45	19,55	44,15	2.23	Wm.
164	Racines	0,5764	*n.*	27,50	22,41	5,09	12,57	2.18	Wm.
167	Balles. Paille	1,9305	*f.*	60,00	41,40	18,60	42,08	2.18	Wm.
167	Racines	0,7160	*n.*	27,50	18,46	9,04	22,33	3.12	Wm.
168	Balles. Paille	2,0070	*f.*	60,00	33,10	26,90	60,81	3.03	Wm.
168	Racines	0,8639	*n.*	27,50	13,85	13,65	23,72	2.74	Wm.
	PLANTES 1887 (élevées dans le ballon de verre. Cfr. p. 306.)								
	POIS N° 384.								
	Balles et paille. 1re récolte	0,6295	*r.*	26,60	21,68	4,92	12,05	1.91	Wm.
	Balles et paille. 1re récolte	0,8951	*r.*	26,60	19,34	7,26	17,79	1.99	Wm.
	Paille. 2e récolte	0,7450	*r.*	26,60	19,07	7,53	18,45	2.46	Wm.
	Paille. 2e récolte	0,6900	*r.*	26,60	19,52	6,98	17,10	2.48	Wm.
	Grains	0,3760	*r.*	29,95	23,70	6,25	14,14	3.80	M.
	Racines	1,1520	*r.*	26,60	13,22	13,38	32,78	2.85	Wm.
	AVOINE								
	Plante entière	0,1600	*r.*	26,60	25,25	1,35	3,31	2.06	Wm.
	SARRASIN								
	Plante entière	0,0360	*r.*	26,60	26,35	0,25	0,61	1.70	Wm.

II. — SABLE QUARTZEUX EMPLOYÉ COMME SOL DE CULTURE

Méthode Kjeldahl-Wilfarth. — L'ammoniaque a été distillée sans addition d'acide avec refroidissement convenable de l'appareil et titrée avec l'acide sulfurique. Indicateur : l'acide rosolique.

a) Sans addition de sucre.

1 cent. cube H^2SO^4 = 0gr,0068 Az.

SABLE prélevé.	H^2SO^4 absorbé.	AZOTE TROUVÉ en tout.	AZOTE TROUVÉ par kilogr. de sable.	ANALYSTES.
Gr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	
20	0,005	0,034	0,0017	Wf.
20	0,010	0,068	0,0034	Wf.

b) Avec addition de 0gr,5 de sucre pour chacun.

α. 1 cent. cube H^2SO^4 = 0,00068 Az.

0gr,5 de sucre pris séparément

	ONT ABSORBÉ H^2SO^4.	ET DONNÉ en azote.	ANALYSTES.
	Cm. c.	Milligr.	
	0,06	0,041	M.
	0,09	0,061	M.
	0,07	0,048	M.
	0,07	0,048	M.
	0,10	0,068	M.
En moyenne. . . .	0,078	0,053	

SABLE prélevé.	H^2SO^4 absorbé en tout.	H^2SO^4 absorbé après soustraction de 0cm³,078.	AZOTE TROUVÉ en tout.	AZOTE TROUVÉ par kilogr. de sable.	ANALYSTES.
Gr.	Cm. c.	Cm. c.	Miligr.	Gr.	
40	0,24	0,16	0,109	0,0027	M.
40	0,28	0,20	0,136	0,0034	M.
40	0,30	0,22	0,150	0,0037	M.
40	0,40	0,32	0,218	0,0054	M.
50	0,40	0,32	0,218	0,0044	M.
50	0,40	0,32	0,218	0,0044	M.
50	0,30	0,22	0,150	0,0030	M.
50	0,37	0,29	0,197	0,0039	M.

β. 1 cent. cube H^2SO^4 = 0gr,000677 Az.

$0^{gr},5$ de sucre pris séparément

	ONT ABSORBÉ H^2SO^4.	ET DONNÉ en azote.	ANALYSTES.
	—	—	—
	Cent. cubes.	Milligr.	
	0,16	0,010	Wm.
	0,20	0,014	Wm.
	0,16	0,010	Wm.
	0,19	0,013	Wm.
	0,16	0,010	Wm.
En moyenne	0,17	0,011	

SABLE	H^2SO^4 absorbé		AZOTE TROUVÉ		
prélevé.	en tout.	après soustraction de $0^{cm^3},17$.	en tout.	par kilogr. de sable.	ANALYSTES.
—	—	—	—	—	—
Gr.	Cm. c.	Cm. c.	Milligr.	Gr.	
40	0,44	0,27	0,183	0,0046	Wm.
40	0,38	0,21	0,142	0,0035	Wm.
40	0,35	0,18	0,122	0,0030	Wm.
40	0,38	0,21	0,142	0,0035	Wm.
40	0,36	0,19	0,129	0,0032	Wm.
40	0,40	0,23	0,156	0,0039	Wm.
40	0,20	0,03	0,020	0,0005	Wm.
40	0,20	0,03	0,020	0,0005	Wm.
40	0,21	0,04	0,027	0,0007	Wm.
40	0,19	0,02	0,014	0,0003	Wm.
40	0,19	0,02	0,014	0,0003	Wm.

III. — SABLE QUARTZEUX EMPLOYÉ COMME SOL DE CULTURE, PRÉLEVÉ DANS LES VASES ET ANALYSÉ APRÈS LA RÉCOLTE.

Méthode, sucre, H^2SO^4, comme ci-dessus II, *b*, β. — Dans chaque analyse on a traité 40 grammes de sable et on s'est servi de $0^{gr},5$ de sucre.

TABLEAU.

NUMÉROS des vases.	H^2SO^4 ABSORBÉ		AZOTE TROUVÉ		ANALYSTES.
		après soustraction de 0cm³,17.		pour la totalité du vase.	
	Cm. c.	Cm. c.	Mgr.	Gr.	
			a) Sol de culture de pois de 1887.		
323	0,43	0,26	0,1760	0,0176	Wm.
	0,44	0,27	0,1768	0,0177	Wm.
327	0,69	0,52	0,3520	0,0352	Wm.
329	0,40	0,23	0,1557	0,0156	Wm.
332	0,57	0,40	0,2708	0,0271	Wm.
	0,59	0,42	0,2843	0,0284	Wm.
333	0,66	0,49	0,3317	0,0332	Wm.
335	0,64	0,47	0,3182	0,0318	Wm.
337	0,90	0,73	0,4942	0,0494	Wm.
341	0,96	0,79	0,5348	0,0535	Wm.
342	0,44	0,27	0,1828	0,0183	Wm.
	0,44	0,27	0,1828	0,0183	Wm.
343	0,78	0,61	0,4130	0,0413	Wm.
	0,77	0,60	0,4062	0,0406	Wm.
346	0,85	0,68	0,4604	0,0460	Wm.
	0,90	0,73	0,4942	0,0494	Wm.
348	0,71	0,54	0,3656	0,0366	Wm.
352	1,61	1,44	0,9749	0,0975	Wm.
	1,58	1,41	0,9548	0,0955	Wm.
354	0,56	0,39	0,2640	0,0264	Wm.
362	0,35	0,18	0,1219	0,0122	Wm.
	0,34	0,17	0,1151	0,0115	Wm.
363	0,55	0,38	0,2573	0,0257	Wm.
	0,55	0,38	0,2573	0,0257	Wm.
364	0,65	0,48	0,3250	0,0325	Wm.
	0,66	0,49	0,3317	0,0332	Wm.
365	0,51	0,34	0,2302	0,0230	Wm.
	0,61	0,44	0,2979	0,0298	Wm.
369	0,51	0,34	0,2302	0,0230	Wm.
	0,52	0,35	0,2370	0,0237	Wm.
370	0,69	0,52	0,3520	0,0352	Wm.
			b) *Sol prélevé dans le ballon de verre* (cfr. p. 306).		
384	0,47	0,30	0,2031	0,0203	Wm.
	0,48	0,31	0,2099	0,0210	Wm.

IV. — LES INFUSIONS DE TERRE

Méthode Kjeldahl-Wilfarth.—L'ammoniaque sans addition d'acide, distillée à basse température, a été titrée avec l'acide sulfurique.

Indicateur : l'acide rosolique.

1 cent. cube $H^2SO^4 = 0^{gr},0069$ azote.

INFUSION DE TERRE. Donnée à	Genre de terre infusée.	Quantité soumise à l'analyse.	H^2SO^4 absorbée.	CORRESPONDANT en azote à milligr.	ANALYSTES.
—	—	—	—	—	—
		Cm. c.	Cm. c.		
		Année 1886.			
Pois	L. I.	25	0,05	0,35	M.
		Année 1887.			
Avoine et sarrasin.	L. I.	25	0,04	0,28	M.
		25	0,05	0,35	M.
		25	0,05	0,35	M.
Pois	L. I.	25	0,03	0,21	M.
		25	0,03	0,21	M.
	L. II.	25	0,04	0,28	M.
		25	0,04	0,28	M.
	S. I.	25	0,10	0,69	M.
		25	0,10	0,69	M.
	S. II.	25	0,02	0,14	M.
		25	0,02	0,14	M.
Serradelle	L. I.	25	0,03	0,21	M.
		25	0,03	0,21	M.
	S. I.	25	0,02	0,14	M.
		25	0,02	0,14	M.
Lupins	L. I.	50	0,07	0,49	M.
		50	0,07	0,49	M.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I.

État de développement de quelques pieds de serradelle, faisant partie de la série C dans les expériences de 1887 (v. p. 210 et suiv.), d'après une photographie prise le 1er août.

Comme milieu de culture, on avait employé pour tous les numéros du sable quartzeux stérilisé, qui avait été additionné d'un mélange nutritif dépourvu d'azote.

Mais en outre avaient reçu :

Les nos 242 et 243, rien;

Les nos 244, 245, 248, 249 et 250, une infusion de 5 grammes chacun de terre sableuse légère prise dans un champ de lupins;

Les nos 246 et 247, la même infusion, après l'avoir portée préalablement à la température d'ébullition.

Les nos 266 à 269 eurent d'abord leur sable mélangé d'une grande quantité de carbonate de chaux, égale à 1 p. 100 du sol, puis les nos 266 et 267 ne reçurent rien de plus.

Les nos 268 et 269 furent additionnés d'infusion de terre, comme plus haut.

Les deux nos 264 et 265 enfin reçurent la même infusion, mais stérilisée par coction, et de plus on donna à chacun d'eux 0gr,041 de nitrate de chaux, soit 0gr,007 d'azote.

PLANCHE II.

Lupins de la série D dans l'expérience de 1887 (v. p. 218 et suiv.). Photographie prise le 26 juillet.

Les nos 291 et 292 ont été cultivés dans un sable quartzeux stérilisé avec solution nutritive dépourvue d'azote et addition d'une infusion faite avec 10 gr. de terre sableuse prise à un champ de lupins.

PLANCHE III.

État de développement de quelques pieds de pois de la série E dans l'expérience de 1887 (v. p. 222 et suiv.), d'après une photographie prise le 27 juillet.

Tous les numéros étaient comme milieu de culture dans du sable quartzeux stérilisé, et partout fut donnée une dose égale de solution nutritive sans azote.

Outre cela, on donna :

Aux nos 325, 226, 327, 337, 338, 339, 340 et 341 un extrait aqueux, préparé pour chacun avec 5 grammes d'une terre cultivée, et on employa à cet effet :

Pour les nos 325, 326 et 327, la terre marno-lehmeuse humique d'un champ de betteraves sucrières (L. I.);

Pour les nos 337 et 338, la même terre prise à une autre place (L. II), et

Pour les nos 339, 340 et 341, une terre sableuse du diluvium prise à un champ de lupins.

Les nos 322, 323 et 324 n'avaient reçu aucune addition de cette nature, et

Les nos 328, 329 et 330 avaient été pourvus d'extrait aqueux, exactement comme les nos 325, 326 et 327, mais après qu'il avait été stérilisé à une température de 100° C.

PLANCHE IV.

Disposition de l'expérience faite sur la production des tubérosités radicales chez les légumineuses et décrite p. 289 et suiv.

La solution aqueuse dépourvue d'azote avec une addition d'infusion terreuse est partagée également entre les deux vases A et B; mais la moitié que reçoit B a été préalablement stérilisée par coction.

Le pois du n° 380, pris à l'état d'inanition, est fixé au point de contact des deux vases de façon qu'une moitié de son système radical plonge dans la solution non stérilisée A et l'autre dans la solution stérilisée B.

PLANCHE V.

Cette planche représente le même plant du n° 380, photographié le 21 août, après avoir été soumis pendant trois semaines à l'expérience; à ce moment, la moitié du système radical végétant dans la solution non stérilisée avait formé de nombreuses protubérances à l'état rudimentaire, tandis que la moitié qui se trouvait dans la solution stérilisée n'en présentait absolument aucune.

Pour rendre la figure plus facile à comprendre, la plante fut tirée de l'appareil et son système radical disposé entre deux plaques de verre.

PLANCHE VI.

État de développement des trois plantes : pois, n° 384, avoine et sarrasin, appartenant à l'expérience décrite p. 301 et suiv., d'après épreuve photographique prise le 26 juillet.

Les plantes ont végété dans le sable quartzeux calciné, ayant reçu une solution nutritive sans azote et un peu d'infusion terreuse. (Expérience fondamentale de Boussingault modifiée.)

Bernburg 30 octobre 1888.

TRAVAUX

DE LA

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON

1883-1889

PREMIÈRE SÉRIE

FIXATION DE L'AZOTE PAR LA TERRE ET LES VÉGÉTAUX

Fixation de l'azote atmosphérique par la terre végétale [1].

Les êtres vivants sont formés par des gaz condensés, tirés de l'atmosphère terrestre : oxygène, azote, hydrogène, et composés du carbone. C'est l'acide carbonique de l'air qui leur fournit le carbone, élément dominant de toute constitution organique; fixé d'abord par les végétaux, il passe de là dans les animaux. Quant à l'hydrogène, l'eau, empruntée tant à l'atmosphère qu'au sol terrestre, l'apporte en abondance aux êtres vivants; peut-être aussi, pour une certaine portion, l'ammoniaque de l'air et du sol. L'oxygène, d'autre part, entre dans les organismes vivants sous une triple forme : oxygène libre, oxygène combiné dans l'eau, oxygène combiné dans l'acide carbonique : dans les trois cas, l'atmosphère en est toujours la source fondamentale.

Reste l'azote, ce lien des autres éléments, cet ingrédient essentiel des principes immédiats qui concourent à la génération des plantes

1 *Annales de chimie et de physique,* 6e série, t. XIII, p. 5. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. CI, p. 775 ; 1885.

et des animaux, aussi bien qu'à la reproduction incessante de leurs tissus et au développement de leurs énergies vitales. L'azote ne saurait être fourni que par l'atmosphère; mais jusqu'ici on ne sait pas bien comment il est introduit dans les êtres vivants. S'il est vrai que les animaux soient constitués surtout par des principes azotés, il n'est pas moins certain qu'ils ne les fabriquent point eux-mêmes, de toutes pièces. Les carnivores empruntent l'azote à la chair des herbivores, dont ils se nourrissent, et les herbivores à leur tour le prennent aux végétaux. C'est donc à ceux-ci qu'il convient de remonter, pour chercher l'origine première de l'azote des êtres vivants et les mécanismes généraux de sa fixation.

On voit par là pourquoi nulle question n'est plus intéressante en agriculture que celle de l'origine de l'azote des végétaux, source eux-mêmes de la formation des tissus animaux; nulle question cependant n'est demeurée plus obscure, malgré cent ans d'expériences et de discussions.

Les composés azotés qui concourent à l'entretien de la vie traversent un cycle continuel de transformations, pendant lesquelles quelque portion de leur azote retourne sans cesse à l'état élémentaire. Ce retour a lieu incessamment, quoique à un faible degré, pendant la nutrition des animaux. Il a lieu d'une façon très manifeste, pendant la germination des graines végétales. Il se produit aussi, et surtout après la mort des êtres vivants, pendant le cours des fermentations et putréfactions qui président à la décomposition finale de leurs principes immédiats.

Ainsi la somme de l'azote combiné dans les êtres vivants ne demeure pas constante; elle tendrait au contraire à diminuer sans cesse dans la nature, s'il n'y avait pas des causes compensatrices. Il faut donc qu'il existe des actions inverses, capables de fixer l'azote libre qui se trouve dans l'atmosphère.

Mais la seule action de ce genre qui ait été connue jusqu'à ces derniers temps est la formation de l'acide nitrique par les étincelles électriques, c'est-à-dire par les foudres et les éclairs des orages, action accidentelle et manifestement insuffisante pour expliquer les phénomènes de la végétation naturelle. Ainsi, par exemple, l'azote nitrique formé dans l'air de nos climats dans l'espace d'une année

(1882-1883) s'est élevé à 3^{kg},85 par hectare, d'après les observations faites à Montsouris (*Annuaire pour 1884*, p. 386 et 395); tandis qu'il en faudrait 50 à 60 kilogr. par hectare, pour restituer l'azote enlevé par la récolte annuelle d'une prairie ou d'une forêt. A la vérité, l'étincelle forme également de l'azotite d'ammoniaque, en agissant sur l'azote humide; mais le poids de l'azote ammoniacal qui résulte de cette décomposition de l'eau, serait tout au plus égal à celui de l'azote de l'acide nitreux ou nitrique, formé en même temps. En fait, il lui est fort inférieur, une portion de l'acide nitrique se formant directement dans l'air par l'union de ses éléments libres, lors de l'action de l'étincelle électrique.

La théorie ingénieuse de la circulation de l'ammoniaque entre l'air, les mers et le sol végétal, proposée par M. Schlœsing, laisserait toujours subsister la difficulté d'origine; car cette ammoniaque n'échapperait pas aux causes générales de destruction des composés azotés, qui interviennent pendant le cycle qu'elle parcourt : sa quantité absolue devrait donc tendre à diminuer incessamment. D'ailleurs, la dose d'ammoniaque gazeuse, apportée ainsi par l'atmosphère sur une surface donnée, est tout à fait insuffisante pour expliquer la dose d'azote fixée par le sol, surtout quand on opère loin des villes et dans un air pur : c'est ce que démontrent sans réplique les dosages qui seront exposés plus loin.

Des observations analogues s'appliquent aux opérations de l'agriculture, malgré l'intervention des engrais azotés que l'on ajoute au sol pour en entretenir la fertilité. En effet, la proportion d'azote enlevée par la récolte dépasse souvent celle qui est restituée au sol par les engrais : excédent d'autant plus notable qu'une portion de l'azote des engrais s'élimine en nature et à l'état de liberté, indépendamment de la végétation, par le fait des fermentations; une autre portion se dégage dans l'atmosphère, sous forme d'ammoniaque; tandis qu'une autre portion encore de l'azote du sol est entraînée par les eaux souterraines, sous forme de nitrates, ou de produits organiques dissous. Toutes les actions connues concourent donc à épuiser l'azote combiné dans le sol et dans les végétaux.

On avait pensé d'abord que les plantes ordinaires possédaient la

propriété d'assimiler directement l'azote libre ; mais, à la suite de longues controverses et d'une multitude d'expériences, les auteurs les plus modernes et les plus autorisés se sont accordés jusqu'à ces derniers temps avec M. Boussingault pour écarter cette hypothèse, comme démentie par toutes les observations exactes. En tout cas, elle n'a pu être démontrée, et les faits sur lesquels elle semblerait encore s'appuyer peuvent être rapportés à l'action propre de la terre, plutôt qu'à celle des végétaux supérieurs développés à sa surface. Disons enfin que la fixation de l'azote par l'hydrogène naissant que fourniraient les matières humiques en décomposition a été aussi invoquée ; mais elle n'a pu non plus être démontrée par des preuves certaines.

Ce sont ces causes de déperdition incessantes de l'azote, qui constituent le principal problème de l'Agriculture. Si elles n'intervenaient pas, il suffirait de restituer continuellement les engrais des animaux (déjections et débris divers) au sol appauvri par l'enlèvement des récoltes, que ces mêmes animaux consomment. On établirait ainsi, par des dispositions convenables, une rotation véritable, un *circulus*, pour employer le terme proposé jadis par Pierre Leroux, qui en avait fait, en 1848, la base de son projet de Constitution politique : chaque être vivant, chaque homme étant réputé en principe pouvoir vivre sans travailler, à l'aide du seul produit des engrais qu'il aurait restitués à la terre. Cette idée étrange met cependant bien en évidence la nécessité de l'azote en agriculture.

A défaut des engrais animaux, insuffisants ou gaspillés dans les grandes villes, faute de procédés convenables pour les recueillir méthodiquement et les faire retourner jusqu'aux champs cultivés, nous recourons aujourd'hui aux composés azotés fournis par les industries chimiques : sels ammoniacaux et nitrates.

Si cette solution suffit et suffira longtemps encore aux besoins de l'Agriculture, ce n'est pourtant pas là une solution théorique du problème. En effet, l'industrie humaine ne sait pas produire économiquement les composés azotés en partant de l'azote libre, c'est-à-dire en utilisant les réactions synthétiques.

Dans l'industrie, les sels ammoniacaux sont fabriqués en grande partie par la destruction des débris animaux, non sans de fortes dé-

perditions d'azote ; déperditions qui concourent ainsi à accroître la perte d'azote éprouvée dans la nature sur l'ensemble des composés azotés naturels.

Une autre partie des sels ammoniacaux industriels résulte de la distillation de la houille, c'est-à-dire de la destruction des réserves naturelles, accumulées pendant les temps géologiques, et qui s'épuiseront, elles aussi, à la longue. Il en est de même des nitrates de soude, fournis en si grande abondance par les mines du Chili.

En somme, l'industrie humaine opère sur des composés azotés naturels, tirés des êtres vivants ou des réserves naturelles ; mais elle ne les produit pas.

Ce sont ces composés que l'agriculture intensive utilise. Par conséquent, l'agriculture intensive ne diffère de la végétation naturelle et spontanée que parce qu'elle consomme les composés azotés plus rapidement et en plus grande quantité ; mais elle ne connaît jusqu'ici aucune méthode efficace pour les régénérer au moyen de l'azote atmosphérique. Tout le monde est d'accord sur ce point.

Tel était l'état de la Science lorsque, il y a quelques années, j'ai établi l'existence d'une cause naturelle, nouvelle et inattendue, de fixation directe de l'azote libre sur les principes immédiats des végétaux : je veux dire l'électricité atmosphérique normale, agissant d'une manière continue.

Il ne s'agit plus de ces actions accidentelles, de ces décharges subites et de ces étincelles violentes qui forment, en faibles doses, l'acide azotique et l'azotite d'ammoniaque pendant les orages. Mais dans les phénomènes que j'ai découverts, l'électricité atmosphérique engendre peu à peu des composés azotés complexes, par une action inductrice, lente, continue, résultant des faibles tensions électriques qui existent en tout temps, en tout lieu, à la surface du globe[1].

Cette action, demeurée inconnue jusqu'à présent, se produit cependant d'une manière nécessaire, en vertu des lois inéluctables de la Chimie et de la Physique, partout où se trouvent réalisées ces

1. *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. X, p. 51, 55, et t. XII, p. 456. — *Sur la force des matières explosives*, t. I, p. 328, et surtout p. 337. — *Essai de mécanique chimique*, t. II, p. 383.

trois conditions: présence de l'azote libre, présence d'une matière hydrocarbonée, et existence d'une tension électrique, si faible qu'elle puisse être. En cherchant à approfondir davantage ces phénomènes, sur lesquels j'aurai occasion de revenir encore, j'ai découvert une autre condition, nouvelle aussi et non moins générale, de fixation directe de l'azote atmosphérique: je veux parler de l'action sourde, mais incessante, des sols argileux et des organismes microscopiques qu'ils renferment.

Ces deux influences de l'électricité atmosphérique et de l'action propre du sol, pour déterminer la restitution continuelle de l'azote pendant la végétation spontanée, sont essentielles à constater : car il est incontestable que la terre végétale d'une prairie ou d'une forêt s'appauvrirait peu à peu par le fait de la végétation, joint à l'enlèvement des récoltes, s'il n'existait pas des causes compensatrices; je dis des causes plus énergiques que les apports météoriques dus aux pluies d'orage et à l'ammoniaque atmosphérique, et qui soient capables de régénérer à mesure les composés azotés des plantes.

Une semblable restitution d'azote ne se manifeste pas dans les analyses qui portent sur la culture intensive, parce que les récoltes enlevées chaque année sont si abondantes que la perte due à leur départ surpasse le gain dû à la fixation naturelle de l'azote : celle-ci n'apparaît donc pas dans les essais faits sur des plantes ainsi cultivées. Mais il en est autrement dans la végétation naturelle.

En effet, personne ne saurait douter, et l'observation la plus vulgaire démontre que, malgré les déperditions incessantes d'azote dues à l'enlèvement des récoltes et aux décompositions chimiques, la vie végétale se reproduit dans les prairies et dans les forêts, en vertu d'une rotation indéfinie; du moins toutes les fois qu'on n'épuise pas la terre par une culture intensive.

Or, mes expériences actuelles mettent en évidence deux des mécanismes de cette régénération, indispensable à qui veut se rendre compte de la fertilité continue des sols naturels. Nous trouvons par là l'explication de bien des pratiques agricoles, consacrées par une longue tradition, mais dont la théorie était restée obscure : telle que la jachère intermittente du sol, les labours fréquents et profonds,

etc. Ces expériences expliquent en même temps comment des sables argileux, presque stériles au moment où ils sont amenés au contact de l'atmosphère, peuvent cependant servir de support et d'aliment à des végétations successives. Celles-ci deviennent même de plus en plus florissantes, parce qu'elles utilisent à mesure l'azote fixé annuellement par ces sables, ainsi que l'azote des débris des végétations antérieures, débris accumulés et associés aux mêmes sables argileux, de façon à constituer à la longue la terre végétale.

Dans l'étude de ces importantes questions, disons comment j'ai procédé : en effet, l'histoire de la marche suivie dans mes essais ne sera peut-être pas sans quelque intérêt.

Au début, en 1883, je me proposais surtout de préciser le mode d'influence de l'électricité atmosphérique sur la fixation de l'azote pendant la végétation : non pour revenir sur le fait même de la fixation électrique de l'azote sur les principes hydrocarbonés, fixation qui se produit au contact de l'atmosphère d'une façon aussi nécessaire que les phénomènes d'oxydation; mais je me proposais de pénétrer les circonstances et le détail de cette fixation. J'ai disposé, à cette fin, des sols artificiels presque exempts d'azote et de matière organique, tels que des sables argileux et des kaolins; ils étaient arrosés de temps en temps avec de l'eau distillée, et je me suis efforcé d'y faire pousser des végétaux choisis convenablement soit en les semant, soit en les repiquant, de façon à les rendre aptes à fixer sur eux-mêmes l'azote atmosphérique.

Les pots qui contenaient ces sols artificiels étaient disposés dans des conditions diverses, et notamment au sommet d'une tour haute de 28 mètres. Les uns étaient libres, les autres isolés électriquement et maintenus pendant plusieurs mois consécutifs au potentiel de l'atmosphère, à l'aide de dispositions bien connues des physiciens (écoulement d'eau d'un réservoir, isolé lui-même et mis en communication électrique avec les pots). Le potentiel atmosphérique, proportionnel comme on sait à l'altitude, est demeuré voisin de 600 à 800 volts, pendant presque toute la durée des expériences. Celles-ci ont donné lieu à divers incidents, dus à la complexité extrême de toute évolution d'êtres vivants, lesquels m'ont montré la nécessité d'analyser davantage les conditions du problème, et d'étudier séparé-

ment : d'une part, l'action de l'électricité sur les plantes et sur le sol, indépendamment ou simultanément, dans diverses conditions de vitalité et périodes d'existence des végétaux ; et, d'autre part, l'action propre du sol et des plantes, séparés ou réunis, sur la fixation de l'azote atmosphérique. Les questions à résoudre se sont dès lors multipliées, ainsi que les séries d'expériences, et j'ai dû, pour procéder avec méthode, coordonner et limiter mes premiers efforts, de façon à tâcher de résoudre d'abord le problème de la fixation de l'azote par le sol, indépendamment des actions électriques et indépendamment de la végétation. Pour plus de simplicité, j'ai même cru utile d'opérer sur des terrains presque stériles : à savoir les sables argileux, qui se trouvent au-dessous des meulières et pierres siliceuses des plateaux des environs de Paris, et les kaolins bruts, employés dans la fabrication des porcelaines de Sèvres.

L'étude de la fixation de l'azote libre sur ces terrains, faite dans des conditions variées d'aération, d'éclairage, d'altitude, de stérilisation, etc., constitue mon *premier Mémoire :* cette fixation s'y trouve complètement démontrée.

Dans le *second Mémoire,* annexe du précédent, j'ai examiné la nature et la proportion de la matière organique contenue dans ces terrains ; matière qui constitue la trame des êtres vivants microscopiques, aptes à fixer l'azote atmosphérique.

Le *troisième Mémoire* est consacré à l'étude de la fixation de l'azote, non plus cette fois sur des sables argileux et des kaolins, mais sur la terre végétale elle-même ; toujours indépendamment de la formation des végétaux proprement dits.

Enfin, dans le *quatrième Mémoire* j'examine la fixation de l'azote sur la terre végétale, avec le concours de la végétation, et j'y démontre qu'elle a lieu également dans ces circonstances, au moins pour certaines espèces botaniques.

Cela suffit pour l'objet de la présente recherche ; mais il est clair qu'il y aurait lieu de développer ces résultats par l'étude de l'influence exercée à l'aide d'espèces diverses, choisies dans des familles différentes les unes des autres, et sur des sols de composition également variée : c'est un champ de recherches nouvelles, fort étendues et d'une haute importance. Quels qu'en puissent être les résul-

tats, j'en ai, dès à présent, précisé les limites, en établissant le rôle du sol dans la fixation de l'azote; rôle qui avait été jusqu'ici méconnu. Quand l'action propre d'un certain nombre de végétaux bien spécifiés, soit pour consommer une portion de l'azote ainsi fixé par le sol, soit pour en accroître la fixation, aura été convenablement définie par les nouvelles expériences que j'ai entreprises, et lorsque j'aurai reconnu la constitution chimique des principes immédiats constitutifs de la terre végétale, constitution que j'étudie en ce moment; alors, dis-je, j'espère être en mesure de reprendre d'une façon plus précise les problèmes relatifs au mode d'influence de l'électricité sur la végétation, problèmes entièrement distincts de ceux que je traite dans les présentes séries d'expériences.

On voit toute l'étendue et la complexité de ces questions, où interviennent à la fois les êtres vivants d'un ordre supérieur, les microbes, la terre végétale avec sa constitution chimique propre, enfin les actions chimiques et physiques auxquelles elle est soumise. Heureux si je puis en résoudre quelques-uns d'une façon définitive!

PREMIER MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Fixation de l'azote libre par certains terrains argileux.

Les expériences que je vais décrire ont été exécutées dans la station de Chimie végétale de Meudon, sur quatre terrains argileux presque stériles, très pauvres en matière organique et en composés azotés, et par là même très propres à montrer l'origine des phénomènes qui président à la fixation de l'azote. Elles ont été faites pour la plupart en dehors de tout développement de végétation proprement dite. Elles ont compris deux années de culture, du mois de mai 1884 au mois d'octobre 1885.

Mes expériences constituent cinq séries distinctes, mais simultanées, faites sur quatre terrains différents, et comprenant plus de cinq cents analyses, savoir:

1° Simple conservation des terrains dans une chambre close; con-

dition qui exclut l'action de la pluie, des poussières et des autres matières amenées par l'atmosphère illimitée et incessamment renouvelée, ainsi que celle des gaz émis par le sol.

2° Séjour dans une prairie, sous-abri; condition qui exclut seulement l'action de la pluie, en admettant celle de l'atmosphère illimitée et renouvelée, et celle des gaz exhalés par le sol.

3° Séjour en haut d'une tour de 28 mètres, sans abri; condition qui admet à la fois l'influence de la pluie, celle de l'atmosphère sans limite et celle de l'électrisation de l'air qui circule à cette hauteur; mais elle exclut le voisinage des gaz émis par le sol.

4° Séjour dans des flacons hermétiquement clos, en présence d'un très grand volume d'air; condition qui exclut les poussières, la pluie, l'atmosphère illimitée, les gaz du sol, enfin l'électrisation de l'air. L'opération s'effectue tout entière sur un volume d'air limité et non renouvelé.

5° Enfin, stérilisations destinées à exclure l'influence des microbes contenus dans les terres soumises aux essais.

Au même ordre que ces derniers appartiendraient les essais sur la végétation dans des sols préalablement chauffés au rouge, tels qu'un certain nombre des essais qui ont été faits autrefois pour étudier la fixation de l'azote par les végétaux. En agissant ainsi, les opérateurs avaient exclu, à l'avance et sans s'en douter, l'une des conditions fondamentales du succès.

J'ai exposé d'abord les procédés d'analyse, puis la nature des terrains, et ensuite les cinq séries d'expériences qui viennent d'être signalées, en y joignant une série préliminaire, faite en 1884, dans des conditions un peu plus compliquées, mais dont les résultats ont été pareils.

En résumé, les terrains argileux étudiés, sables et kaolins, possèdent la propriété de fixer lentement l'azote atmosphérique libre. Cette aptitude est indépendante de la nitrification, aussi bien que de la condensation de l'ammoniaque; elle est attribuable à l'action de certains organismes vivants. Elle n'est pas manifeste en hiver; mais elle s'exerce surtout pendant la saison d'activité de la végétation. Une température de 100 degrés l'anéantit. Elle s'exerce aussi bien en vase clos qu'au contact de l'atmosphère; aussi bien à l'air com-

plètement libre, au sommet d'une tour, que sous un abri, au voisinage du sol couvert de végétation, ou dans une chambre close à l'intérieur d'un bâtiment; elle a lieu dans l'obscurité comme à la lumière, quoique plus activement dans le second cas.

Les chiffres suivants précisent cette fixation opérée sur 1 kilogr. de matière pendant une saison avril à octobre (1885):

SUBSTANCE.	AZOTE initial.	FLACON CLOS (lumière).	CHAMBRE close.	PRAIRIE.	TOUR.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Sable jaune [I]	0,0910	0,1289	0,1179	0,0983	»
Sable [II].	0,1119	0,1503	0,1639	0,1295	0,1396
Argile-kaolin [III] . . .	0,0210	0,0495	0,0407	0,0353	0,0557
Kaolin [IV]	0,1065	0,1236	»	0,1144	0,1497

On voit qu'elle est du même ordre de grandeur dans les quatre cas, sans que l'exposition à l'air ait donné lieu à quelque accroissement particulier attribuable aux composés azotés, ammoniaque ou acide azotique apportés par l'atmosphère. L'apport possible de ces derniers demeurerait en tous cas, d'après les expériences citées, fort au-dessous des quantités d'azote réellement fixées; il ne saurait, d'ailleurs, en être question dans les expériences faites en vase clos.

Attachons-nous au poids absolu de l'azote absorbé par 1 kilogr. Il s'est élevé, au contact de l'air.

Dans la chambre, avec le sable [I], dans la première saison (1884), à 22 milligr.; dans la seconde saison (1885), à 27 milligr.; en vase clos, à 38 milligr.

Avec le sable [II], les gains ont été : dans la chambre, 52 milligr.; en vase clos, 38 milligr.; dans la prairie et sur la tour, 18 et 28 milligr.; mais ces derniers sont trop faibles, les lavages dus à la pluie ayant dû amener des déperditions.

Avec le kaolin [III], les gains ont été : dans la chambre, 20 milligr.; dans le vase clos, 28 milligr.; dans la prairie, 14 milligr.; sur la tour, 35 milligr. Ce kaolin était très pauvre en azote au début.

Si l'on rapproche de ces chiffres la surface des pots employés dans la prairie et sur la tour (113 cent. carrés), ils conduiraient, pour

une surface de 1 hectare, à des fixations d'azote telles que: 20 kilogr. pour le sable [I], 16 et 25 kilogr. pour le sable [II], 32 kilogr. pour le kaolin [III], nombres que je donne seulement pour fixer les idées. Ils sont, en effet, beaucoup trop faibles, parce qu'ils se rapportent à des épaisseurs de sols minimes, telles que 8 à 10 cent.; tandis que l'absorption de l'azote s'est faite tout aussi bien et proportionnellement sous une épaisseur quintuple (45 cent.), dans les pots de la chambre intérieure. On comprendra mieux l'ordre de grandeur du phénomène, si l'on observe, d'une part, que les apports d'azote, dus à l'azote, tant nitrique qu'ammoniacal, des eaux de pluie, à Rothamsted, sont évalués, par MM. Lawes et Gilbert, à 8 kilogr. par hectare [1]. A Montsouris, on a trouvé seulement 17 kilogr. en 1883.

Or, la quantité d'azote soustraite au sol annuellement, lorsqu'on enlève la récolte d'une prairie, serait voisine de 50 kilogr. à 60 kilogr. par hectare, d'après les évaluations reçues. La déperdition annuelle en azote serait, dès lors, voisine de 40 kilogr. à 50 kilogr., aux dépens de la terre végétale d'un hectare. A la vérité, celle-ci y suffit pendant un certain temps, parce qu'elle renferme dans ses couches superficielles de 1 gramme à $2^{gr},5$ d'azote par kilogr., c'est-à-dire 50 à 100 fois autant peut-être qu'elle est susceptible d'en perdre par saison par l'enlèvement des récoltes, ou bien qu'il s'en est fixé en sens inverse pendant une saison, sur les terrains argileux que j'ai étudiés. Mais il est incontestable que la terre végétale d'une prairie ou d'une forêt s'appauvrirait peu à peu, par le fait de la végétation, joint à l'enlèvement des récoltes, s'il n'existait pas de causes compensatrices, plus énergiques que les apports météoriques, et susceptibles de régénérer à mesure les composés azotés du sol.

En fait, et malgré ces déperditions incessantes, toutes les fois qu'on n'épuise pas la terre par une culture intensive, la vie végétale se reproduit dans les prairies et dans les forêts, en vertu d'une rotation indéfinie. Or, les expériences actuelles mettent en évidence l'un des mécanismes de cette régénération, indispensable pour rendre compte de la fertilité continue des sols naturels. Elles expliquent

1. GRANDEAU, *Cours d'agriculture*, t. I, p. 452; 1879.

en même temps comment des sables argileux, presque stériles au moment où ils sont amenés au contact de l'atmosphère, peuvent cependant servir de support et d'aliment à des végétations successives, de plus en plus florissantes, parce qu'elles utilisent à mesure l'azote fixé annuellement par ces sables, ainsi que celui des débris des végétations d'années antérieures, débris accumulés et associés aux sables argileux du début, de façon à constituer à la longue la terre végétale.

DEUXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Sur le carbone organique contenu dans les sols qui fixent l'azote libre.

Les recherches que j'ai faites sur la fixation directe de l'azote libre par divers terrains argileux, fixation qui s'opère par l'intermédiaire de certains organismes, m'ont conduit à chercher quelque autre mesure, propre à indiquer la proportion même de ces organismes. Il ne paraît pas possible d'isoler sous un poids sensible ces organismes; mais on peut se faire une idée de leur abondance, en dosant le carbone constitutif de leurs tissus. Je crois utile d'entrer dans quelques détails sur ces analyses, qui soulèvent des problèmes nouveaux et très délicats.

Le dosage du carbone dans les sols s'opère en principe par les méthodes ordinaires, je veux dire par la combustion au moyen de l'oxyde de cuivre, puis de l'oxygène. Seulement il convient d'opérer sur 30 grammes des sables ou argiles de nos expériences, sables extrêmement pauvres en matières organiques; ce poids étant calculé de façon à permettre de récolter environ 100 milligr. d'acide carbonique. Si l'on opérait sur la terre arable, beaucoup plus riche en carbone, un poids dix ou quinze fois moindre suffirait.

Quant à l'hydrogène organique, son dosage précis ne paraît guère possible, à cause de la dose d'eau considérable que retiennent les terres séchées à 100 degrés; température qu'il ne serait pas prudent d'ailleurs de dépasser, pour ne pas altérer la matière organique.

Cependant j'ai pris soin, dans tous les cas, de doser l'eau fournie par la combustion.

Le dosage même du carbone offre une difficulté spéciale, tenant à la présence des carbonates, à celle des carbonates de chaux et de magnésie en particulier, dans les terres arables et dans les sables argileux; or ces carbonates sont susceptibles de se décomposer, en tout ou en partie, pendant la combustion. Il est donc indispensable de les détruire au préalable au moyen d'un acide étendu; nouvelle opération qui n'est pas, elle aussi, sans introduire quelque complication. Pour y parvenir, on doit employer un excès d'un acide étendu, acide nécessairement minéral, volatil et non oxydant : ce qui nous limite à l'acide chlorhydrique.

On dose l'acide carbonique ainsi dégagé, en faisant bouillir la masse un instant à 100 degrés, dans un matras traversé par un courant d'air (privé d'acide carbonique).

Cela fait, on lave la terre, qui reste dans le matras, par décantation, jusqu'à absence de chlorures et d'acide chlorhydrique. On la dessèche au bain-marie et on l'introduit enfin dans le tube à combustion. Le carbone organique y est alors dosé avec certitude.

Mais le nombre obtenu par là est un minimum. En effet, en suivant cette marche, on n'obtient qu'une portion du carbone organique, à savoir le carbone des composés insolubles dans l'eau et dans l'acide chlorhydrique étendu. Une autre portion de carbone, celui des composés solubles ou devenus tels sous l'influence des acides étendus, disparaît dans les premières eaux de lavage.

On a obtenu cette autre portion simultanément, à l'aide de procédés spéciaux et appropriés.

Il résulte de ces analyses que : 1 kilogr. des divers sols qui fixent l'azote libre contenait, vers la fin des expériences, de 1 gramme à 3 grammes environ de matière organique (en ajoutant approximativement au poids du carbone celui de l'hydrogène et de l'oxygène complémentaires). Une partie de cette matière constituait les tissus des êtres qui ont opéré la fixation de l'azote.

Pour comparer le poids du carbone organique à celui de l'azote correspondant, il convient de se rappeler que la proportion en poids

de l'azote des principes albuminoïdes à celle de leur carbone est à peu près comme 1 : 3 $^{1}/_{2}$. En admettant que l'azote organique des sols argileux s'y trouvât sous la forme de principes albuminoïdes, ces derniers renfermeraient, dès lors, dans les sables argileux et dans le kaolin [II], une proportion de carbone comprise entre les 2 et les 4 dixièmes du carbone total; dans le kaolin [1], le plus pauvre en azote, ils en contiendraient 1 dixième seulement. Cette dernière proportion est de l'ordre de celles que l'on observe dans les tissus végétaux des plantes annuelles, pendant la période moyenne de leur développement. Mais les autres rapports sont plus considérables et intermédiaires entre la composition moyenne des tissus animaux et celle des tissus végétaux. On peut observer encore qu'ils sont comparables à la richesse en azote des jeunes plantes à leur début.

Ajoutons enfin que le carbone des albuminoïdes, comparé au carbone des composés insolubles, en formerait une fraction voisine de la moitié ou du tiers, dans la plupart des cas; tandis que sa proportion, comparée à celle du carbone des composés solubles, varie bien davantage. Ceci semblerait indiquer que les composés azotés de nos sols font surtout partie des principes susceptibles d'être rendus insolubles par la chaleur ou les acides, c'est-à-dire des albuminoïdes; tandis que les composés carbonés solubles sont formés principalement par des hydrates de carbone, solubles par eux-mêmes, ou avec le concours de l'acide chlorhydrique. J'indique avec réserve ces rapprochements; mais ils offrent un certain intérêt, comme fournissant une première caractéristique de ces organismes singuliers, qui possèdent la propriété de fixer l'azote atmosphérique.

TROISIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Fixation directe de l'azote gazeux de l'atmosphère par les terres végétales.

De longues séries d'expériences, poursuivies pendant trois ans, m'ont permis d'établir que les sols et sables argileux absorbent directement l'azote gazeux de l'atmosphère : l'azote entre ainsi dans

la constitution de certains organismes microscopiques, par l'intermédiaire desquels sa fixation semble s'effectuer. L'absorption de l'azote a lieu dans les terres placées au voisinage d'un sol gazonné, aussi bien que dans une chambre isolée de la végétation; à l'air libre, aussi bien que dans des flacons fermés à l'émeri.

La série des expériences réalisées dans cette dernière condition, c'est-à-dire dans une atmosphère confinée, est particulièrement décisive; car elle exclut jusqu'à la possibilité même de l'intervention lente des composés azotés, existant en très petite quantité au sein de l'atmosphère illimitée. Des dosages comparatifs de l'ammoniaque atmosphérique ont établi d'ailleurs que celle-ci est à dose trop faible pour jouer, même à l'air libre, un rôle essentiel dans la fixation de l'azote. Mais, je le répète, les expériences faites en vase clos excluent absolument une telle intervention.

Ces résultats s'appliquent au phénomène pris dès ses origines, c'est-à-dire observé sur des sables presque exempts d'azote et de matière organique. J'ai pensé qu'il convenait de rechercher dans quelle mesure ils sont applicables aux terres végétales elles-mêmes, et spécialement aux terres formées par l'action lente de la végétation sur les sols et sables argileux, employés dans les expériences précédentes; une fois que ces sables ont été extraits des profondeurs et amenés à la surface. L'étude en est d'autant plus intéressante que la fixation de l'azote en vases clos, par un tel sol, ne saurait être indéfinie; étant corrélative de l'accroissement des êtres vivants qui accumulent l'azote dans leurs tissus. En effet, les principes immédiats constitutifs de ces êtres renferment une dose de carbone limitée et qui ne saurait s'accroître dans un flacon fermé à l'émeri. Les mêmes sols, transformés en terres végétales proprement dites, c'est-à-dire enrichis par les débris d'un grand nombre de générations de plantes développées à l'air libre, conservent-ils ensuite, indépendamment de toute végétation, la faculté d'absorber l'azote gazeux? Telle est la question que je me suis proposé d'examiner, avant d'aborder l'étude des mêmes terres, pourvues de plantes vivantes.

J'ai opéré dans les conditions suivantes. Chacune des expériences a été faite sur une masse de terre pesant environ 50 kilogr. Cette terre avait été séchée préalablement à l'air, en l'étendant dans une

chambre sur une grande surface et sous une faible épaisseur, puis on l'avait ameublie, débarrassée des cailloux et des débris apparents des végétations antérieures; enfin on l'avait mélangée avec soin et rendue homogène autant que possible.

On l'a introduite alors dans une série de grands pots, les uns en grès verni, d'autres en porcelaine, tous à large surface (1500 cent. cubes environ). Ces pots avaient été fabriqués exprès et sur un modèle dessiné par moi; ils étaient percés à la partie inférieure d'un certain nombre de trous, destinés au drainage des eaux pluviales, ou des eaux de lavage.

Les études ont été suivies pendant une saison entière, du mois de mai au mois de novembre 1886.

Voici la liste de toutes mes expériences; les six premières ont été faites sur un même échantillon de terre.

Pot n° 1. — Terre n'ayant subi aucun lavage ou traitement préliminaire, exposée à l'air libre et à la pluie, ne portant aucune végétation.

Pot n° 5. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initials. — Sans végétation. — A l'air et à la pluie.

Pot n° 3. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initials. — Sans végétation, — Conservée sous un hangar ouvert, mais à l'abri de la pluie.

Pot n° 6. — Terre n'ayant subi aucun traitement, exposée à l'air libre et à la pluie. On y a fait développer des pieds d'Amarante.

Pot n° 2. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initials; exposée à l'air libre et à la pluie On y a fait développer des pieds d'Amarante.

Pot n° 4. — Mêmes conditions que le n° 2.

Deux autres expériences ont été faites avec des terres prises en d'autres points du terrain et plus riches en azote. Ces terres ont été tamisées finement et conservées dans un grenier, dans des pots simplement recouverts d'une planche.

Voici le résumé des résultats obtenus en l'absence de toute végétation: les résultats obtenus avec son concours faisant l'objet du Mémoire suivant.

Les figures ci-après donnent une idée des appareils mis en œuvre.

Pot n° 1. — *Apports pendant l'expérience* (du 24 mai au 20 novembre 1886).

Pour 50 kilogr. de terre (supposée sèche) :

Azote initial de la terre		50gr,37
Azote nitrique		0 ,38
Azote apporté par la pluie (d'après dosages udométriques).	ammoniacal	0 ,0475
	nitrique	0 ,013
	organique, env.	0 ,013
Total		50gr,81

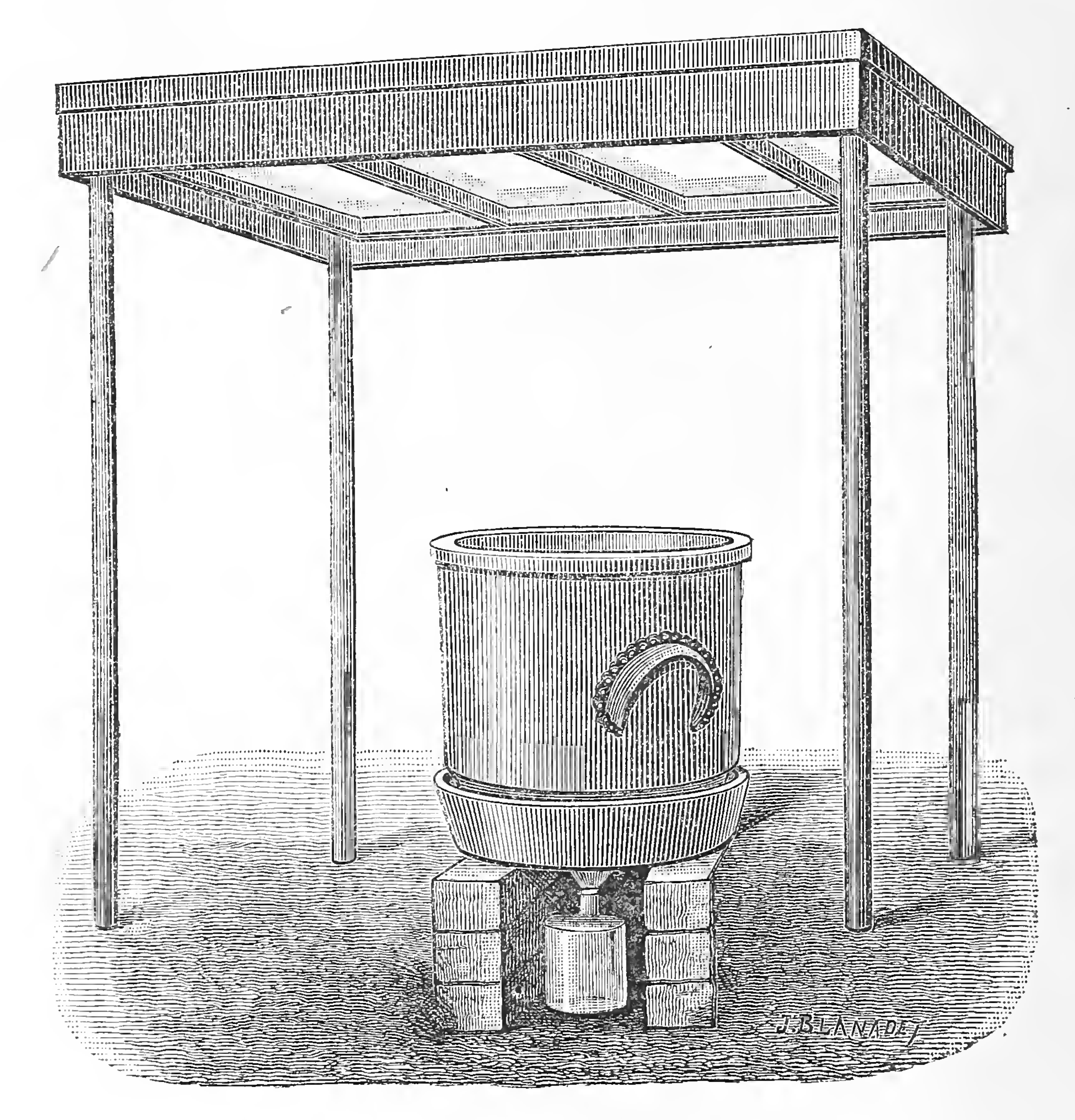


Fig. 1. — Grands pots de 50 litres.

Produits à la fin de l'experience (*rapportés à* 50 *kilogr.*) [20 novembre 1886].

Azote final de la terre	62gr,48
Azote nitrique, dosé dans l'eau de drainage, provenant de la pluie, mais récoltée après avoir traversé le pot	0 ,661
Azote ammoniacal dans cette même eau, non dosé	x
Total	62gr,14 + x

Le total de l'azote final surpassait $63^{gr},14$.

D'après les nombres précédents, les produits en azote surpassent notablement les apports. Il en résulte en effet que les 50 kilogr. de terre mis en expérience ont fixé (en tenant compte de l'azote des nitrates entraînés par drainage) un chiffre supérieur à

$$63^{gr},14 - 50^{gr},76 = 12^{gr},38 \text{ d'azote}$$

en sept mois, dans les conditions définies ci-dessus.

L'azote ammoniacal, apporté sous forme gazeuse par l'atmosphère,

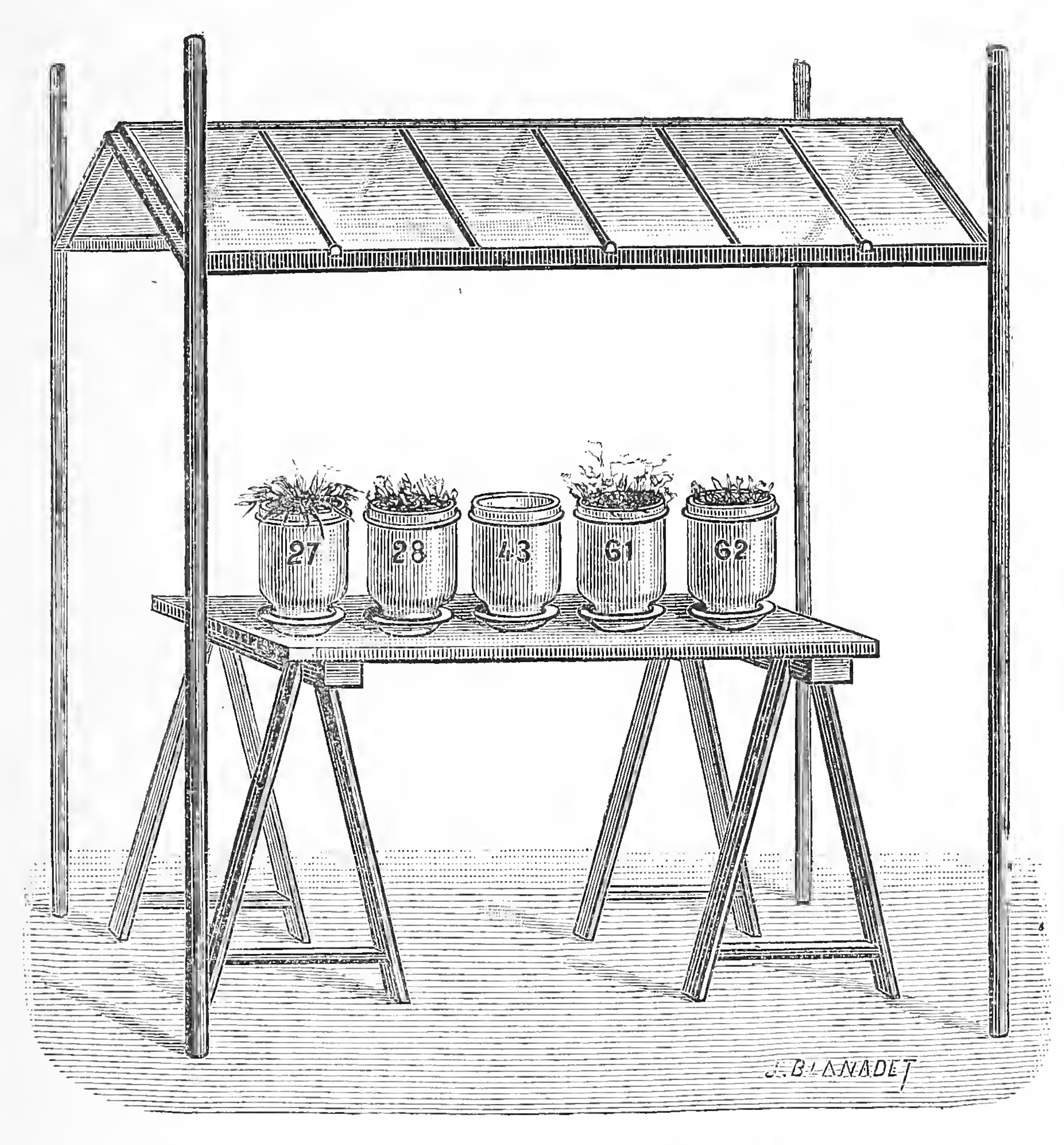


Fig. 2. — Pots placés à l'air libre sous un abri.

d'après les expériences faites avec l'acide sulfurique étendu, au même point de la prairie, se serait élevé au maximum à $0^{gr},048$: valeur insignifiante par rapport au poids de l'azote fixé, car elle n'en représente pas la deux-cent-cinquantième partie.

On remarquera que ces dosages rapportés à 1 kilogr. de terre

représentent 0gr,254 d'azote fixé, dose beaucoup plus considérable que celle qui a été observée dans l'un des Mémoires précédents sur les sols argileux, si pauvres en matière organique. Les microbes fixateurs d'azote sont donc bien plus abondants dans la terre végétale que dans les sables argileux : abondance corrélative avec la richesse beaucoup plus grande de cette terre en carbone organique.

Observons encore que la nitrification a formé 2gr,2 environ de salpêtre dans cette terre, pendant l'expérience, d'après le dosage final. Elle en contenait déjà 2gr,7 au début. Dans tous les cas, son action ne paraît pas liée directement avec la fixation de l'azote, dont elle ne comprend qu'une dose insignifiante.

Pot n° 5. — Terre épuisée de salpêtre par lavage initial, sans végétation, exposée à la pluie, à l'air libre. Surface 1 520 cent. carrés (sept mois).

Eau initiale, en centièmes.	10.0
Eau finale	16.7

Apports pendant l'expérience (*pour* 50 *kilogr. de terre sèche*) [du 24 mai au 20 novembre 1886].

Azote initial de la terre.		54gr,60
Azote apporté par la pluie (udomètre, p. 86). . .	ammoniacal. . .	0 ,048
	nitrique	0 ,013
	organique. . . .	0 ,013
Total		54gr,67

Produits à la fin de l'expérience.

Azote final de la terre, pour 50 kilogr., sec.	78gr,6
Azote nitrique entraîné dans l'eau qui a traversé la terre	0 ,198
Azote ammoniacal, non dosé	x
Le total de l'azote final surpasse . .	78kg,8

D'après ces faits, la terre végétale mise en expérience a fixé continuellement l'azote atmosphérique libre ; même en dehors de toute végétation proprement dite. Ce gain ne saurait être attribué aux apports atmosphériques des composés azotés, gazeux ou dissous dans l'eau de pluie. Dans les expériences où les eaux pluviales s'écoulaient au dehors, après avoir traversé la terre, la pluie a même enlevé au sol, sous la seule forme de nitrates, plus d'azote qu'elle n'en a apporté,

sous les formes d'ammoniaque, d'acide nitrique et d'azote organique réunis. Malgré cette circonstance, la fixation de l'azote a été plus considérable dans une terre lavée par la pluie que dans une terre abritée : sans doute en raison de l'activité plus grande imprimée aux organismes fixateurs d'azote, par la circulation de l'air et de l'eau. L'origine de l'azote fixé pendant le cours de la végétation paraît donc définitivement éclaircie.

QUATRIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Fixation directe de l'azote gazeux de l'atmosphère par les terres végétales, avec le concours de la végétation.

J'ai exposé, dans les Mémoires précédents, mes expériences, faites à la station de Chimie végétale de Meudon, sur la fixation directe de l'azote gazeux atmosphérique par certains sols argileux et par certaines terres végétales, envisagée indépendamment de l'action de la végétation des plantes proprement dites. J'ai décrit les conditions et les résultats de ces expériences, dont les dernières ont été exécutées dans de grands pots, contenant chacun 50 kilogr. de terre environ, c'est-à-dire une quantité susceptible de fournir à une plante un milieu assez étendu pour se prêter à une végétation accomplie jusqu'au bout, dans des conditions normales. Cependant ce milieu était, d'autre part, assez limité pour permettre l'analyse complète de tous les produits, et pour écarter l'intervention illimitée des substances susceptibles d'être apportées par les lavages et les infiltrations, lorsqu'on opère sur le sol des champs.

Je vais rapporter maintenant les expériences parallèles et simultanées, faites avec le concours de la végétation, à l'air libre, et dans les conditions mêmes du développement naturel des plantes.

POT N° 6 : *Terre n'ayant subi aucun traitement, exposée à l'air libre et à la pluie, au milieu d'une prairie.*

On y a fait développer des pieds d'*Amarantus pyramidalis.*

On a le bilan suivant :

Apports.

Azote initial de la terre (pour 50 kilogr. secs).	54gr,09
Azote apporté par la pluie.	0 ,076
Azote apporté par l'ammoniaque atmosphérique, gazeuse au plus .	0 ,053
Azote apporté par les pieds d'Amarantes	0 ,35
Somme.	54gr,57

Produits.

Azote final de la terre.	56gr,54
Azote entraîné par les eaux qui ont traversé la terre (minimum). .	0 ,403
Azote final des plantes	0 ,235
Somme.	59gr,18

Il y a eu, en définitive, fixation de 4gr,61 d'azote.

Le gain final sur les matières restées dans le pot est réparti à peu près également : entre la terre, qui a gagné 2gr,45 ;

Et les plantes, qui ont gagné 1gr,885.

Mais il est facile de concevoir que si l'on avait laissé plusieurs pieds d'Amarante dans le pot, ils auraient pu garder dans leurs tissus la totalité de l'azote fixé, et même en emprunter un excès à la terre, laquelle se serait alors trouvée appauvrie, le gain en azote portant tout entier sur la plante.

Deux autres expériences ont conduit à la même conclusion générale.

En résumé, dans ces expériences, il y a eu fixation d'azote en proportion considérable :

Sur les sables et sols argileux, aussi bien que sur la terre végétale proprement dite, lorsque j'ai opéré en l'absence de la végétation;

Sur la terre et la plante réunies, lorsque j'ai opéré en présence de la végétation.

Quant au dernier point, M. Joulie est arrivé à la même conclusion, dans les expériences qu'il a publiées depuis, à l'occasion de celles que je venais de présenter à l'Académie; mais il n'avait pas fait d'essais comparatifs sur la terre elle-même, source essentielle de la fixation de l'azote.

Dans les expériences actuelles, la fixation de l'azote par la terre, *avec le concours de la végétation,* s'est élevée à

$4^{gr},61$, $7^{gr},18$ et $7^{gr},50$

au lieu de

$12^{gr},38$ et $23^{gr},13$;

poids observés *avec la terre seule,* dans les deux couples d'essais que j'ai exécutés d'une façon comparative et simultanée.

Il semble donc que la végétation des Amarantes ait consommé une portion de l'azote fixé par la terre, la vie de ces plantes d'ordre supérieur, de même que celle des animaux, donnant lieu à une déperdition incessante de l'azote combiné. Cette conclusion s'applique essentiellement à la plante sur laquelle j'ai opéré, et je ne prétends pas la généraliser autrement; car elle exigerait des expériences plus multipliées.

CINQUIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Sur quelques conditions générales de la fixation de l'azote par la terre végétale[1].

J'ai publié précédemment le détail des longues séries d'expériences, poursuivies depuis l'année 1884, et qui démontrent que certaines terres argileuses et certains sables ont la propriété de fixer l'azote atmosphérique et de s'enrichir d'une façon lente et progressive en matières organiques azotées, appartenant à des êtres vivants, ou dérivées de ces êtres. Depuis l'exécution de ces séries d'essais, je n'ai cessé de poursuivre l'étude de ce phénomène intéressant et d'en préciser les conditions et les limites. Je vais résumer mes études à cet égard, en y comprenant à la fois celles qui sont publiées dans le Mémoire précité et un certain nombre de recherches inédites. La question est de première importance pour la connaissance de la vie des plantes et de la fertilité du sol.

1. *Annales de chimie et de physique,* 6e série, t. XIV, p. 473.

L'ensemble des résultats observés tend à faire regarder la terre, non comme une matière minérale, inerte, stable et invariable dans sa composition, tant que les végétaux proprement dits ne s'y développent pas; mais comme une matière remplie d'êtres vivants, et dont la composition chimique et spécialement la richesse en azote varient et oscillent suivant les conditions qui président à la vitalité propre de ces êtres. Il y a là un changement radical de point de vue, qui distingue les travaux de notre temps d'avec les travaux d'autrefois.

Au temps des recherches de Liebig et Boussingault, je veux dire il y a trente ans et plus, la terre végétale, en effet, était envisagée comme un support purement chimique, passif, inerte, simple association de matériaux privés de vie, parmi lesquels les plantes puisaient les éléments chimiques nécessaires à leur nutrition. On croyait pouvoir lui substituer sans inconvénient, parfois presque sans s'en apercevoir, des mélanges supposés équivalents, diversement manipulés, souvent même chauffés ou calcinés, en vue de simplifier les expériences.

Aujourd'hui, au contraire, d'après les idées que nous cherchons à faire prévaloir, la terre végétale est regardée comme un support actif, comme une chose vivante; c'est-à-dire que l'on explique ses propriétés par l'existence des micro-organismes dont elle est remplie, est dont l'action propre est liée à celle de la vie végétale et concourt au développement des plantes. Aux conditions d'ordre purement minéral, en quelque sorte, que l'on se bornait à envisager autrefois, il convient d'ajouter maintenant les conditions physiologiques, délicates et complexes, qui président à la vie propre de ces organismes microscopiques.

De là cette nécessité, si fréquente dans les Sciences naturelles, de reprendre les anciennes expériences, qui ont cessé d'être concluantes, et d'en exécuter de nouvelles, mises en conformité avec les faits et les idées modernes.

Je vais donc essayer d'établir un certain nombre des conditions physiologiques — et non les seules peut-être — qui président à la fixation de l'azote. Ces conditions sont, d'ailleurs, des résultats immédiats d'expériences, indépendants de toute hypothèse sur la cause, quelle qu'elle soit, qui détermine la fixation de l'azote.

1. *État naturel du sol.* — L'aptitude à fixer l'azote appartient à certains sols et sables argileux, pauvres en azote, riches en potasse. On les reconnaît tout d'abord à cette propriété en vertu de laquelle ces sables argileux, extraits de la terre et répandus à sa surface, se couvrent rapidement de végétation, par semis naturels ou artificiels, sans le concours d'aucun engrais[1], et en même temps que le sol s'enrichit peu à peu en azote. Un sol calcaire ou siliceux quelconque, peu favorable à la végétation, ne remplirait pas ces conditions.

En effet, le mot *terre* est un mot vague et désigne des matières trop diverses pour que l'on puisse conclure de l'une à l'autre, sans autre renseignement. Or je ne sais jusqu'à quel point on pourrait qualifier de *terres végétales* ces mélanges hétérogènes mis quelquefois en œuvre, mélanges renfermant la moitié ou davantage de leur poids de sables grossiers, siliceux et calcaires, matériaux incohérents et non ameublis, peu propres au développement des êtres vivants : j'ai soigneusement écarté de tels mélanges de mes propres études.

J'ai également écarté les mélanges artificiels, fabriqués en associant un sable calciné ou une matière stérile quelconque avec un terreau riche en azote, ou avec un engrais organique ou minéral quelconque. Sans contester que de tels mélanges, s'ils sont convenablement composés, ne puissent servir de supports à certaines végétations, et sans examiner s'ils peuvent devenir aptes à fixer l'azote, dans des conditions telles que les êtres vivants spécifiques de cette fixation viendraient à s'y trouver ensemencés, cependant il m'a paru préférable, comme rigueur de méthode, d'opérer seulement sur des sols convenablement préparés par les actions naturelles.

Est-il besoin de rappeler encore qu'il s'agit de végétation spontanée, et non de culture intensive, où l'on enlève à mesure les récoltes?

2. *Composition chimique du sol.* — Pour préciser, au point de vue chimique, les sols et terres homogènes, sur lesquels j'ai observé cette fixation d'azote, contenaient, au début, par kilogr., de $0^{gr},10$ à $1^{gr},30$ d'azote. Dans les plus riches, la fixation de cet élément a

1. *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XIII, p. 19.

cessé d'être observée au delà de $1^{gr},30$ à $1^{gr},70$. Ces données sont importantes : non que je prétende que ces limites ne puissent être dépassées, soit avec des sols différents, soit en opérant dans des conditions nouvelles, mais elles représentent des données de fait, répondant aux observations que j'ai exécutées jusqu'à présent.

Entrons dans des détails plus circonstanciés.

I. Sables argileux jaunes, tirés d'une fouille récente, triés et tamisés pour séparer les pierres et les débris organiques, et exposés à l'air pendant quelques jours.

Ils contenaient à l'origine :

Premier échantillon.

Pour 1 kilogr. de terre sèche (à 110 degrés) :

Azote organique. . . .	$0^{gr},0705$		
Azote des nitrates . . .	0 ,0001		
Carbone organique . . .	0 ,819	Composés insolubles à froid dans les acides étendus	$0^{gr},638$
		Composés solubles à froid dans les acides étendus	0 ,181
Carbone des carbonates.	0 ,006		
Potasse	4 ,48		
Eau.	17 ,3		

L'azote dans ce sable s'est élevé, en deux ans, aux valeurs suivantes, de $0^{gr},071$ à :

Prairie	$0^{gr},098$
Flacon clos	0 ,129
Chambre	0 ,118

suivant les conditions.

Second échantillon.

Pour 1 kilogr. de terre sèche :

Azote organique	$0^{gr},1101$		
Azote des nitrates . . .	0 ,0018		
Carbone organique. . .	1 ,784	Composés insolubles à froid dans les acides étendus	$1^{gr},244$
		Composés solubles à froid dans les acides étendus	0 ,540
Carbone des carbonates.	0 ,103		
Potasse	7 ,02		
Eau.	49 ,2		

L'azote dans ce sable s'est élevé, en deux ans, aux valeurs suivantes, de $0^{gr},112$ à :

Prairie	$0^{gr},129$
Sommet d'une tour	0 ,140
Flacon clos	0 ,150
Chambre	0 ,164

suivant les conditions.

II: Terres végétales proprement dites :

Échantillons divers mis en expérience.

Pour 1 kilogr. de terre sèche, au début :

Azote organique	$1^{gr},092$ à $1^{gr},074$
Azote nitrique	0 ,076 à 0 ,00 (épuisé par lavages).
Carbone organique	23 ,0
Soufre total	1 ,42
Phosphore total	0 ,641
Potasse	8 ,92
Chaux	33 ,2 (dans un échantillon).
Eau	100 à 133 (suivant les échantillons).

L'azote dans ces échantillons s'est élevé, en un an, de $1^{gr},083$ à $1^{gr},18$, $1^{gr},23$, $1^{gr},24$, avec le concours de la végétation ; $1^{gr},34$ et $1^{gr},71$, sans végétation, suivant les conditions.

Cette composition s'applique, bien entendu, à des sols homogènes. Si l'on faisait des mélanges artificiels de terreaux, plus riches en azote, avec des sols pauvres, des calcaires, ou avec des sables calcinés, ces mélanges ne seraient pas nécessairement comparables aux terres naturelles que j'ai étudiées.

Celles-ci ne seraient pas non plus assimilables des terres exposées à l'air depuis longtemps, ou mélangées d'engrais, ou bien encore épuisées, soit par la nitrification, soit par une végétation intensive.

J'ajouterai encore que le carbone doit appartenir à des composés humiques de formation ancienne et non au terreau proprement dit récemment fabriqué et riche en ammoniaque, ou bien encore à un fumier ammoniacal ; ces conditions et la présence de doses notables d'ammoniaque paraissant contraire aux conditions de vie propre aux microbes fixateurs d'azote.

La terre la plus apte à fixer l'azote doit être extraite sur des points

non épuisés par une végétation artificielle et intensive, et en écartant la couche superficielle sur une épaisseur de quelques centimètres.

3. *État sous lequel l'azote est fixé.* — La fixation de l'azote sur un sol argileux, récemment tiré des profondeurs, a lieu sous la forme de composés organiques complexes, qui paraissent appartenir aux tissus de certains microbes contenus dans le sol, et non sous la forme d'ammoniaque ou d'acide azotique. C'est ce qui résulte de l'étude de la composition chimique du sol et des composés carbonés qu'il renferme. En effet, l'azote, je le répète, ne s'y trouve pas sous forme de nitrates ou de sels ammoniacaux, mais à l'état de composés amidés insolubles, lentement décomposables par les acides et par les alcalis et comparables aux corps albuminoïdes et à leurs dérivés. En rapportant l'azote à la composition des albuminoïdes, on trouve que, dans nos sables argileux, ces derniers principes renfermeraient le tiers ou la moitié du carbone total des composés insolubles : ce qui fournit une première notion sur la nature des êtres vivants qu'ils contribuent à former, êtres voisins par leur composition des semences et des jeunes tissus végétaux.

Peut-être n'est-il pas superflu d'observer que la fixation de l'azote sur les composés organiques soumis à l'influence de l'effluve électrique[1] donne pareillement lieu à des combinaisons complexes, comparables à celles que forment les êtres vivants. Il y a là une certaine analogie entre l'action chimique des êtres vivants et celle de l'effluve, l'une et l'autre agissant à basse température et avec formation de combinaisons condensées.

Quoi qu'il en soit, on peut donner une autre preuve, moins directe à la vérité, de la constitution des êtres sur lesquels se fixe l'azote, d'après les conditions de stérilisation. En effet, la fixation cesse d'avoir lieu lorsque la terre a été portée à 100 degrés, pendant quelque temps.

L'aptitude à fixer l'azote demeure ainsi anéantie, au moins pour un intervalle de temps considérable. Elle est également suspendue, sinon détruite, dès la température de 40 degrés à 45 degrés et dans des conditions diverses que je vais énumérer.

1. *Annales de chimie,* 5e série, t. X, p. 51 ; t. XII, p. 453.

En fait, j'ai reconnu que les conditions qui favorisent l'absorption de l'azote sont celles qui permettent la circulation des gaz atmosphériques dans l'épaisseur du sol, telles que :

Porosité de la terre, limitée d'ailleurs, afin que la circulation de l'air n'y soit par trop active ;

Présence d'une dose d'eau limitée, spécialement comprise entre 2 ou 3 centièmes et 15 centièmes (cette dernière condition est applicable à la terre nue, non à la terre couverte de végétation) ;

Présence de l'oxygène, en même temps que de l'azote ;

Et volume d'air égal à 30 ou 40 fois au moins le volume de la terre.

Dans des flacons complètement remplis de terre, ou même à demi, la fixation d'azote n'a pas lieu.

Température supérieure à 10 degrés, mais moindre que 40 degrés ou 45 degrés, celle-ci faisant périr les microbes ou altérant les principes azotés.

L'oxydation ne doit pas être trop activée et poussée jusqu'à nitrification et la terre ne doit pas être disposée en couche mince, mais sur une épaisseur notable, afin que la circulation des gaz oxydants n'y soit pas trop rapide ; circonstance qui fait périr les bactéries et divers autres microbes.

Toutes ces conditions sont définies par des expériences précises, exposées dans le présent mémoire.

Limitation. — Voici une remarque d'une grande importance. J'ai observé que la fixation de l'azote par les sols argileux, étudiée en dehors de la végétation proprement dite, n'est pas un phénomène illimité. Elle a lieu sur des sols neufs, c'est-à-dire récemment tirés de la profondeur et exposés à l'air, sans avoir été le siège de végétions antérieures, au moins de date récente ; j'en ai fourni de nombreux exemples, dans mes expériences précédentes.

Mais, au bout de quelques années, dans un sol abandonné à lui-même et où ne se développe aucune végétation, cette action s'épuise et elle peut même rétrograder : sans doute parce que les microbes qui la déterminent ont accompli leur cycle vital et épuisé la transformation de la dose limitée de matière organique et nutritive pour eux, que le sol renferme. L'oxydation de cette matière doit aussi

concourir à l'épuiser. Ce fait est bien connu des praticiens et des jardiniers, qui regardent un sol nu, exposé à l'air depuis un certain nombre d'années, comme un sol *usé* et peu propre à servir de support à la végétation.

M. Dehérain a publié récemment des expériences très démonstratives à cet égard.

Observons d'ailleurs que, dans un sol quelconque, la dose des principes carbonés ne saurait s'accroître que sous l'influence des végétaux supérieurs, lesquels empruntent leur carbone à l'atmosphère ; ou bien de leurs résidus, c'est-à-dire des engrais hydrocarbonés ajoutés au sol.

Cette limitation, observée ici dans la fixation de l'azote sur un échantillon donné de terre, semble aussi exister pour la nitrification[1]. On peut se demander si elle a lieu également lorsque la terre est le siège d'une végétation plus ou moins active. Mes expériences ne sont encore ni assez nombreuses ni assez variées pour me permettre de répondre, dès à présent, à cette question. Je dirai seulement que la réponse semble devoir varier suivant la nature des espèces végétales : les unes épuisant la terre de ses principes fertilisants, tandis que les autres pourraient être susceptibles de les régénérer. C'est une question que j'étudie en ce moment d'une façon approfondie.

Un mot encore, en terminant, sur la méthode suivie dans les présentes expériences. Cette méthode consiste principalement à tenir compte des conditions physiologiques, susceptibles de présider à la vie des microbes fixateurs d'azote.

On pourrait objecter que l'existence de ceux-ci ne repose que sur des inductions ; mais les conditions que je viens de rappeler sont plus certaines, car je ne parle pas *à priori,* mais d'après des expériences précises que je viens de rappeler. C'est en en tenant compte, et non en prenant une terre au hasard et en la traitant à la façon d'un simple composé chimique, que l'on réussira à obtenir les résultats observés, qu'ils soient ou non attribuables à la vie des microorganismes.

Le rôle de ceux-ci me paraît d'ailleurs offrir un intérêt tout par-

---

1. Cf. l'expérience de Boussingault, *Agronomie,* t. V, p. 315 et suiv.

ticulier. En effet, il ne s'agit plus d'envisager surtout, comme on l'avait fait jusqu'ici, « les micro-organismes comme chargés de restituer à l'air et au sol les matériaux que la végétation leur a empruntés ». Ce rôle est essentiellement analytique et ne présente point de corrélation nécessaire avec la vie végétale proprement dite. Or, c'est au contraire une telle corrélation entre l'activité des cellules agglomérées en grands organismes que constituent les végétaux supérieurs, et les cellules isolées ou groupées en petit nombre, cellules plus ou moins analogues aux précédentes, qui constituent les microbes de la terre ; c'est cette corrélation, dis-je, qui est l'objet principal des travaux que j'exécute, lesquels sont encore loin de leur terme ; je n'en ai dissimulé, d'ailleurs, ni les difficultés, ni les points qui réclament un plus long examen : il faut des années pour toute recherche touchant à l'agriculture et à la vie végétale. Quoi qu'il en soit, ces êtres élémentaires ne provoquent pas seulement des décompositions, comme on l'admettait autrefois, mais aussi des synthèses véritables ; c'est par là que leur étude se rattache à l'œuvre que je poursuis en chimie depuis tant d'années.

SIXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Recherches sur le drainage.

Dans le cours des études relatives à la fixation de l'azote par la terre végétale, études poursuivies depuis l'année 1882 à la Station de Chimie végétale de Meudon, j'ai été amené à comparer les apports en azote combiné, dus à la pluie et à l'atmosphère, avec les déperditions produites par les eaux de drainage. Il me paraît utile d'y revenir, à cause de l'importance du résultat qui s'y manifeste, à savoir que :

Les eaux de drainage, provenant de la pluie, enlèvent au sol nu une dose d'azote combiné très supérieure à celle que l'atmosphère et spécialement l'eau pluviale peuvent lui apporter.

La démonstration, dans mes expériences, prend un caractère de

netteté complète, parce que j'opère sur une masse de terre limitée, de dimensions rigoureusement connues, et renfermée dans un pot qui la met à l'abri des infiltrations illimitées du sol environnant, ainsi que des pertes ou gains mal définis qui pourraient en résulter. J'ai opéré aussi en présence de la végétation, condition qui rend les résultats plus variés. Enfin j'ai employé tantôt une terre renfermant ses nitrates naturels, tantôt une terre dépouillée de ses nitrates par lessivage, au début des expériences.

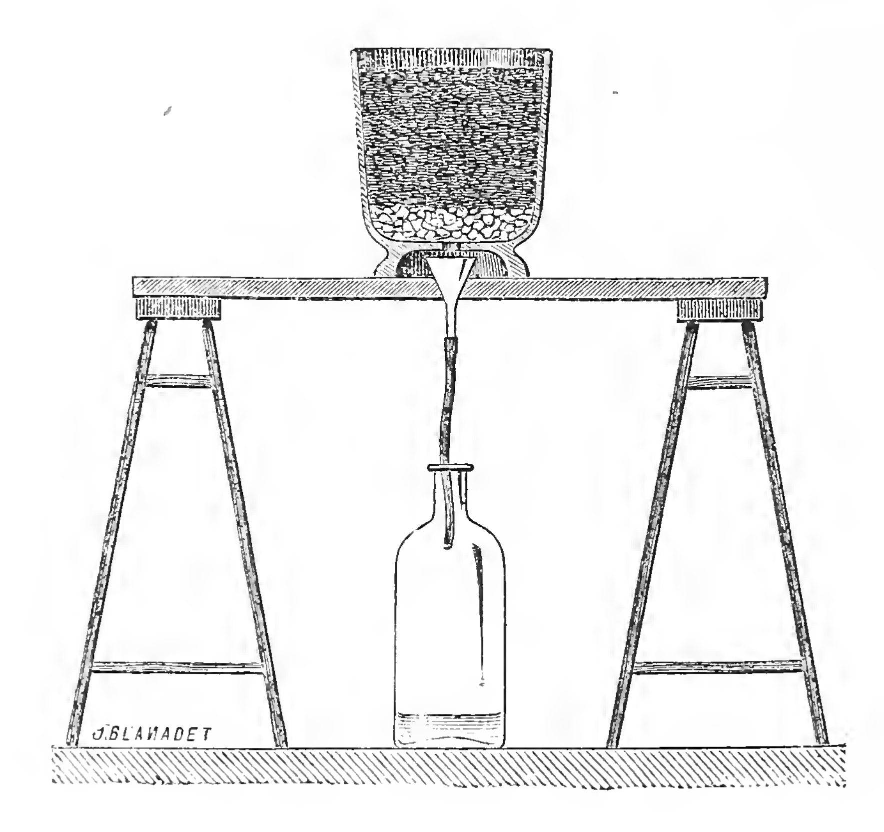


Fig. 3. — Récolte des eaux de drainage.

D'après les nombres observés, l'eau de pluie qui a arrosé les pots (mai à novembre) contenait en moyenne par litre : 0mgr,93 d'azote ammoniacal et 0mgr,24 d'azote nitrique ; plus 0mgr,24 environ d'azote organique ; en tout :

Azote combiné. 1mgr,41

Or 1 litre d'eau de drainage renfermait en azote nitrique, lequel représente presque tout son azote combiné :

I. Terre non lavée à l'avance	sans végétation	45mgr,6
II. Terre épuisée de nitrates à l'avance . .		10 ,2
III. Terre non lavée	avec végétation clairsemée. .	27 ,6
IV. Terre lavée		11 ,3
V. Terre lavée		9 ,6

Ces résultats s'accordent avec la grande richesse des eaux de drainage en nitrates, constatée par tous les analystes.

Il est essentiel de remarquer ici que ces résultats n'ont pas pour conséquence générale de faire regarder le drainage comme nuisible en soi à l'agriculture. En effet, d'une part, les eaux de drainage ne sont pas nécessairement perdues ; mais elles peuvent être utilisées pour irriguer des prairies situées plus bas. En outre, le drainage, en rendant le sol perméable à l'air, y permet la circulation de l'oxygène nécessaire à la nitrification et à la destruction des microbes anaérobies et autres êtres entretenus dans les sols marécageux. Il y permet aussi la circulation de l'azote, destiné à être fixé par la terre dans certaines conditions et à en entretetenir la fertilité naturelle. Une terre gorgée d'eau n'absorbe plus guère ni oxygène ni azote et elle tend, au contraire, à s'appauvrir en azote et en matière organique, par certaines fermentations.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble des résultats que je viens d'exposer éclaircit et précise davantage l'influence de l'atmosphère et des eaux météoriques sur la végétation, ainsi que les circonstances où s'opère la fixation de l'azote sur les sols naturels. C'est là un sujet fécond et destiné à modifier profondément les idées reçues jusqu'à présent sur les conditions de la végétation naturelle et de l'agriculture.

SEPTIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Expériences nouvelles sur la fixation de l'azote par certaines terres végétales et par certaines plantes[1].

J'ai poursuivi depuis 1883 jusqu'à présent une longue suite d'expériences relatives à la fixation de l'azote atmosphérique[2], en variant méthodiquement les circonstances, afin de contrôler les résultats que j'avais observés tout d'abord. Les résultats nouveaux que j'ai obtenus confirment et étendent les anciens ; ils leur donnent un degré

1. *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XVI, p. 433 (Avril 1889).
2. Ce recueil, 6e série, t. XIII, p. 5 à 120 ; t. XIV, p. 473 et 491.

de certitude définitive, en même temps qu'ils fournissent des notions plus exactes sur le rôle respectif de la terre et des végétaux dans cette fixation. En effet, je me suis spécialement proposé, dans les études présentes, d'examiner d'une manière comparative la fixation de l'azote par la terre et par les légumineuses : on sait que cette dernière est admise aujourd'hui par la plupart des savants, sans pourtant que son caractère véritable ait été suffisamment précisé.

Voici le plan des expériences que j'ai exécutées en 1888.

J'ai pris trois terres argileuses différentes, dont deux assez riches en azote, l'autre plus pauvre; elles étaient, d'ailleurs, médiocrement riches en matière organique et faiblement calcaires.

Dans chacune de ces terres, j'ai semé six espèces de légumineuses, telles que le lupin, la vesce, le trèfle, la luzerne, le *Medicago lupulina* et la jarosse; et j'ai opéré simultanément sur la terre nue.

Je me suis placé dans quatre conditions différentes, savoir :

1° A l'air libre ;

2° Sous un abri transparent, permettant la libre circulation de l'air et de la lumière ;

3° Dans des cloches de 45 litres, hermétiquement closes ;

4° Dans une cloche pareille, où l'on faisait passer lentement, chaque jour, 50 litres d'air, privé d'ammoniaque et de poussières par l'action successive de l'acide sulfurique étendu et d'un tube en U rempli de ponce sulfurique : en outre, un litre d'acide carbonique était introduit chaque jour dans cette cloche.

Enfin, j'ai ensemencé avec certains microbes, supposés aptes à déterminer la fixation de l'azote, les trois terres précédentes, prises dans l'état naturel et dans l'état stérilisé, et placées dans des flacons fermés.

Le nombre des expériences ainsi exécutées dépasse 60. Je vais résumer ces expériences, sans en écarter aucune : dans toutes, sans exception, j'ai observé la fixation de l'azote. En deux mois, cette fixation sous cloche s'est élevée jusqu'à 9,2 centièmes de l'azote initial combiné ; et, à l'air libre, en six mois, jusqu'à 41,3 centièmes : nombres trop élevés pour laisser place à aucun doute.

Voici l'ordre adopté pour l'exposition de mes expériences, qui comprennent près de deux mille déterminations analytiques.

I. Un septième Mémoire est consacré à préciser les *données mêmes des expériences,* c'est-à-dire la composition des terres employées et celle des graines; ainsi qu'à présenter des vérifications nouvelles des *méthodes d'analyse,* spécialement en ce qui touche le dosage de l'azote.

II. Dans le huitième Mémoire, je développe les *observations faites sur la terre nue,* indépendamment de toute action des végétaux supérieurs, tant en vase clos, sous cloche, qu'à l'air libre, avec ou sans abri.

III. Le neuvième Mémoire comprendra les *expériences faites avec le concours de la végétation.*

SEPTIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Données des expériences et méthodes d'analyse, relatives à l'étude de la fixation de l'azote.

Les expériences ont été faites sur trois terres différentes et sur six espèces de plantes, telles que le lupin, la vesce, la jarosse, le trèfle, le *Medicago lupulina* et la luzerne.

Les expériences ont été exécutées pour la plupart dans des pots de porcelaine vernie, cylindriques, dont la section était de 282 cent. cubes en moyenne : telle était donc la surface supérieure de la terre.

Le pot était percé d'un trou à sa partie inférieure. Lorsqu'on opérait en plein air, on plaçait au-dessous un entonnoir, destiné à récolter les eaux de drainage, dues à l'action de la pluie, et à les conduire dans un flacon. On avait soin, lorsque de telles eaux s'étaient produites, d'y doser les nitrates le jour même.

Le poids de la terre a varié entre 1 kilogr. et $3^{kg},5$; elle occupait d'ordinaire une épaisseur de 18 centim. environ.

Le dernier poids se rapporte aux plus grands des pots précédents; les autres poids, à des pots plus petits, mais de forme analogue.

Dans chaque pot, on introduisait d'abord une couche (pesée) de pierres siliceuses très compactes (caillasse), en fragments polyédriques, choisis sans fissures ni cavités, de la grosseur d'une noix, enfin obtenus par une fracture récente et exempts de matière organique. Puis on disposait par-dessus la terre, préalablement écrasée et rendue homogène à l'aide d'une série de tamisages opérés avec un tamis grossier.

Comme exemple de l'analyse des terres employées, bornons-nous à reproduire le suivant.

Terre dite de l'enclos.

Cette terre, la plus pauvre des trois en azote, était de nature argileuse, mêlée de sable siliceux. On l'a extraite dans une région bien déterminée des terrains de la Station de Chimie végétale de Meudon.

Elle a été préparée avec soin, en se conformant aux règles tracées ci-dessus.

L'échantillon de cette terre mis en expérience contenait (mai 1888), par kilogr. de terre, supposée séchée à 110 degrés :

Eau (en plus du poids de la terre)	$25^{gr},6$
Perte par calcination modérée à l'air	52 ,3
Azote combiné	0 ,974
Azote des nitrates	0 ,0063
Acide carbonique des carbonates	23 ,06
Carbone organique	19 ,81

Fixation de l'azote.

Acide sulfurique (SO^3) des sulfates préexistants	$0^{gr},534$
Acide renfermant soufre	0 ,214
Soufre total	0 ,486
Acide phosphorique (PhO^5) des phosphates préexistants	0 ,302
Acide renfermant phosphore	0 ,132
Phosphore total	1 ,093
Chaux	31 ,20
Potasse totale (KO)	5 ,91

Composition des graines des plantes mises en expériences.

Nous nous sommes borné à déterminer l'eau, l'azote, le carbone et la cendre, c'est-à-dire les données susceptibles d'intervenir dans nos expériences. On a employé six espèces différentes. Les résultats suivants montrent le caractère des analyses.

Lupin.

30 graines pesaient à l'état naturel	14gr,081
— séchées à 100 degrés	13 ,236

La perte à 100 degrés était de 5.99 p. 100.

Cela donne :

1 graine moyenne	0gr,4694
— séchée	0 ,4412

On a encore :

Cendres, en centièmes de la matière séchée	3.67
Azote (déterminé sur 3gr,14 et 2gr,95 de matière sèche), en centièmes de la matière sèche	5.14
Carbone, en centièmes de la matière sèche	44.11
— — cendres déduites	45.8

Sur le dosage de l'azote.

On a exécuté diverses vérifications nouvelles, relatives aux procédés analytiques mis en œuvre pour le dosage de l'azote [1].

Les unes concernent le dosage de l'azote dans une même terre, à des époques différentes (mai et octobre 1888), en ayant soin de la placer dans des conditions telles qu'elle ne puisse subir aucune altération dans l'intervalle :

On a retrouvé les mêmes résultats par cette voie, sur trois terres différentes étudiées séparément, et cela à un centième près : cette vérification permet de contrôler à la fois la précision permanente de l'observateur (équation personnelle) et le degré de confiance

1. Voir *Annales de chimie*, 6e série, t. XIII, p. 18.

objectif, attribuable à des mesures où l'on fait varier la nature des vases, des liqueurs titrées et de la chaux sodée.

D'autres mesures concernent le dosage de l'azote dans une terre renfermant des nitrates, comparée à la même terre privée de nitrates par lavages, condition où l'emploi de la chaux sodée est tout à fait rigoureux.

Par exemple, dans une terre donnée, l'accroissement de l'azote entre le mois d'avril 1888 et le mois d'août, constaté par la chaux sodée, a été de $0^{gr},1303$, soit 13,4 centièmes; par le procédé Dumas : $0^{gr},1350$, soit 13,2 centièmes. Ce résultat est démonstratif.

Enfin, dans une dernière série, on a opéré comparativement par le procédé de la chaux sodée (dosage de l'azote sous forme d'ammoniaque), et par le procédé Dumas (dosage de l'azote en volume); en examinant les résultats surtout au point de vue des dosages relatifs : c'est-à-dire en vérifiant si les variations dans la proportion d'azote, constatées sur une même terre, à des époques et après des traitements différents, sont les mêmes, soit par le dosage en volume, soit par le dosage sous forme d'ammoniaque.

HUITIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ).

Expériences faites sur la terre végétale nue, pour étudier la fixation de l'azote.

Voici la liste des expériences faites sur la terre végétale nue, dans des conditions distinctes, telles que : en vase clos, à l'air libre sous abri transparent, condition où la pluie est exclue, et à l'air libre sans aucun abri, condition où la terre reçoit librement la pluie. Ces expériences font suite à celles que j'ai déjà publiées. On a opéré séparément sur les trois échantillons de terre végétale définis plus haut :

I. Pot n° 53. — Sous une cloche fermée par un plan de verre. Terre de l'enclos.

II. Pot n° 70. — Sous cloche. Terre de la terrasse.

III. Pot n° 36. — Sous cloche. Terre du parc.

IV. Pot n° 39. — Air libre, sous abri. Terre de l'enclos.

V. Pot n° 56. — Air libre, sous abri. Terre de la terrasse.

VI. Pot n° 22. — Air libre, sous abri. Terre du parc.

VII. Pot n° 46. — Air libre, sans abri. Terre de l'enclos.

VIII. Pot n° 63. — Air libre, sans abri. Terre de la terrasse.

IX. Pot n° 29. — Air libre, sans abri. Terre du parc.

X. Une série spéciale d'expériences a été exécutée pour vérifier si une terre déterminée, de l'ordre de celle que nous mettons en œuvre, c'est-à-dire *destituée de propriétés acides*, est susceptible de s'enrichir, à la longue, en ammoniaque, au contact de l'air et sous l'influence des traces de cet alcali que renferme l'atmosphère naturelle, comme on l'a pensé quelquefois. Cette série, de même que nos expériences précédentes sur la même question[1], a donné des résultats négatifs ou insignifiants.

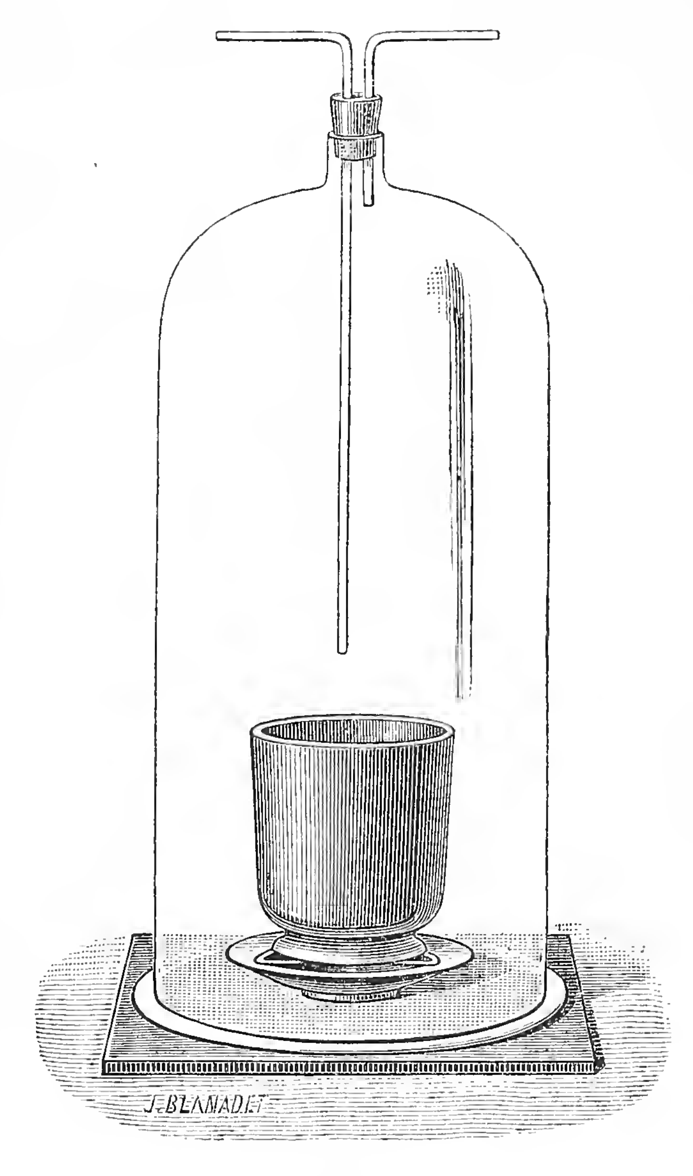


Fig. 4. — Circulation d'air. Terre nue.

Au contraire, dans les expériences faites sur les terres végétales nues, on a observé en général la fixation de l'azote ; cette fixation étant particulièrement marquée avec la terre de l'enclos, la plus pauvre en azote et la plus apte à en fixer. Elle s'effectue également en vase clos, c'est-à-dire dans l'intérieur d'une cloche, et au contact de l'air : ce qui montre que les apports, dus soit aux chutes d'eaux météoriques, soit aux échanges entre les composés organiques du sol et les composés azotés gazeux de l'atmosphère, ne sauraient

1. Voir notamment *Annales de chimie*, 6e série, t. XI, p. 377 et suiv. ; t. XIII, p. 24, 29, etc.

jouer qu'un faible rôle dans cette fixation ; à supposer même que les actions atmosphériques de cet ordre ne tendent pas, au contraire, à abaisser la dose de l'azote combiné dans le sol, d'une part par les exhalaisons d'ammoniaque qui se font aux dépens d'un sol contenant du carbonate de chaux et, d'autre part, par les éliminations de nitrates entraînés dans les eaux de drainage.

Dans ces expériences l'ammoniaque atmosphérique n'a formé à dose appréciable ni sels ammoniacaux, ni amides facilement altérables, en réagissant sur une terre non acide, exposée à son action pendant la saison d'été de 1888. Cette ammoniaque n'a pu former non plus, par voie indirecte, une dose notable de nitrates ; l'accroissement de ceux-ci étant minime. On voit par là combien est restreinte, sinon même douteuse, l'absorption de l'ammoniaque atmosphérique sur une terre normale.

Les conditions générales qui sont nécessaires pour que la fixation d'azote libre ait lieu, telles que :

Circulation lente de l'oxygène dans un sol poreux, mais non absolument pulvérisé, ni soumis à une oxydation excessive, de l'ordre de celle qui active la nitrification ;

Présence d'une dose d'eau limitée ;

Température supérieure à 10 degrés, mais inférieure à 40 degrés ;

Existence dans la terre d'une dose d'azote limitée et n'appartenant pas à des matières organiques soumises soit à une putréfaction, soit à une fermentation ammoniacale, ou même réductrice, etc. ;

Enfin, existence de certains microbes spécifiques ; ces conditions, dis-je, ont été établies dans mes précédentes publications[1]. Sans y revenir en détail, je fournirai cependant divers faits nouveaux qui précisent ces conditions et en signalent en même temps quelques autres : le fait fondamental de l'absorption de l'azote par certaines terres végétales prendra ainsi un caractère de plus en plus net et démonstratif.

Entrons dans le détail.

---

1. Voir notamment *Annales de chimie*, 6[e] série, t. XIV, p. 480.

A. — *En vase clos, sous cloche.*

Pot n° 53. Sous cloche. Terre de l'enclos. — Voici la disposition de l'expérience (*fig. 3*).

On prend une cloche de verre, de 45 litres environ [1], munie d'une tubulure à sa partie supérieure, rodée et dressée avec soin à sa partie inférieure, de façon à en permettre l'ajustement exact sur une grande plaque de verre plane, dépolie.

La tubulure est fermée par un gros bouchon de caoutchouc, percé de trous, que l'on obture pour l'expérience actuelle; mais ils sont susceptibles de recevoir des tubes de verre dans d'autres expériences.

Dans l'intérieur de la cloche, on place une assiette creuse, et au fond de l'assiette un triangle de verre, sur lequel repose un pot de porcelaine vernie, d'un diamètre égal à 19 cent. environ à sa partie supérieure; la surface horizontale en haut du pot a été en moyenne de 282 cent. carrés, dans le plus grand nombre des expériences, notamment celles qui ont été exécutées avec 3 kilogr. à $3^{kg},5$ de terre. Quand on a opéré sur des doses moindres, telles que 2 kilogr. ou même 1 kilogr., on a pris d'ordinaire des pots analogues, mais plus petits. La surface horizontale de ces pots a été mesurée chaque fois, et c'est à elle que se rapporteront les comparaisons.

Le pot renferme la terre mise en expérience.

Dans le cours de certaines expériences, particulièrement si l'on opère avec une terre trop humide, ou bien avec des plantes susceptibles d'être arrosées par la tubulure d'en haut, il arrive que l'eau du pot s'évapore en partie et vient se condenser en ruisselant sur les parois.

Pour me mettre à l'abri de cet accident, j'ai depuis fait construire une coupe de verre à larges bords rodés, sur laquelle on ajuste la cloche (*fig. 4*).

On peut arroser la plante par les tubes d'en haut à l'aide d'un pulvérisateur.

---

1. J'ai fait exécuter en fabrique, sur des dessins exprès, les cloches, pots et vases divers, destinés à l'ensemble de ces expériences.

B. — *A l'air libre.*

On a opéré sans abri et sous abri transparent librement ouvert. Voici la disposition adoptée (*fig.* 5).

Pour récolter les eaux excédantes, résultant des pluies surabondantes, on a pris soin de disposer le trou central de la paroi inférieure du pot au-dessus d'un petit entonnoir, dont le bec traversait un trou foré dans la planche de la table. Au-dessous, un flacon recueillait les eaux de drainage, qui avaient traversé la terre du pot, en entraînant les azotates et autres substances solubles.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

	ÉTAT INITIAL.		CONDITIONS.	DURÉE de l'expérience.	ÉTAT FINAL.		
	Azote pour 1 kil. sec.	Pour la totalité de la terre du pot.			Gain absolu.	Gain relatif.	Gain par hectare, calculé pour la même durée et la même profondeur (18 centim.).
	Gr.	Gr.		Semaines.	Gr.	Centièmes.	
Terre de l'enclos. . . .	0,974	1,8998	Sous cloche close. . . .	8	0,1631	8,6	87
	0,974	1,8998	A l'air libre, sous abri transparent.	12	0,1387	7,3	74
	0,974	1,8998	A l'air libre, sans abri. .	11	0,1671	8,8	86[1]
Terre de la terrasse	1,655	1,557	Sous cloche.	7	0,0342	2,2	18
	1,655	3,1132	A l'air libre, sous abri. .	13	0,1789	5,8	95
	1,655	3,1132	A l'air libre, sans abri. .	11	0,2824	9,1	150[1]
Terre du parc.	1,774	3,2847	Sous cloche.	7	0,1417	4,3	78
	1,774	3,2847	A l'air libre, sous abri. .	11	0,1994	6,1	110
	1,744	3,2847	A l'air libre, sans abri. .	11	0,0541	1,7	30[1]

1. Les apports dus à la pluie étant déduits.

Dans ces neuf expériences, et avec les trois terres sur lesquelles j'ai opéré, il y a toujours eu gain d'azote. Ce gain devrait être en réalité quatruplé et quintuplé, si on le rapportait, comme il conviendrait pour l'étude des phénomènes naturels, à la durée totale de la saison et à une épaisseur totale de terre de $0^m,40$ à $0^m,45$.

Le gain a été surtout marqué pour la terre la plus pauvre en azote. Il a eu lieu aussi bien, et avec des valeurs très voisines pour cette

terre, sous une cloche close, c'est-à-dire à l'abri des vapeurs, poussières et composés azotés disséminés en petite quantité dans l'atmosphère, qu'à l'air libre ; aussi bien à l'air libre sous abri que dans un pot exposé sans abri à l'influence des eaux météoriques. Ces faits démontrent que le gain n'est pas dû à des apports d'azote combiné, mais bien à l'azote libre, emprunté à l'atmosphère. Telle est la conclusion à laquelle j'étais déjà parvenu dans les expériences publiées depuis trois ans ; elle reçoit par là une confirmation nouvelle et plus étendue.

Cette conclusion me paraît fondamentale, et elle est établie, j'insiste sur ce point, indépendamment de toute hypothèse plus ou moins vraisemblable sur la nature et sur l'existence même des microbes végétaux ou autres êtres inférieurs, qui paraissent être les agents de la fixation de l'azote.

NEUVIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ).

Expériences faites sur la terre, avec le concours de la végétation des légumineuses, pour étudier la fixation de l'azote.

J'ai exécuté une suite méthodique d'expériences, faites sur la terre, avec le concours de la végétation, sur les six espèces de légumineuses suivantes : le lupin, la vesce, la jarosse, le trèfle, la luzerne et un mélange de vulnéraire et de *Medicago lupulina.* Les unes de ces expériences ont été faites à l'air libre, sans abri contre les eaux de pluie ; d'autres sous un abri transparent ; d'autres enfin sous des cloches de 45 litres, en vases complètement clos.

Dans le dernier cas, les cloches étaient ajustées sur une plaque, ou sur une coupe de verre ; de façon à réaliser une clôture hermétique.

Dans la plupart des expériences, on a pris soin, à partir du début de la végétation, d'introduire chaque jour dans les cloches une petite quantité d'acide carbonique et de vérifier de temps en temps, par l'analyse d'un échantillon, la composition du gaz intérieur.

Cependant l'une des expériences a été exécutée, à dessein, sans aucune introduction d'acide carbonique. On en a même réalisé une autre dans une atmosphère limitée exprès, de telle façon que la totalité de l'oxygène a été absorbée et remplacée par de l'hydrogène, produit en vertu de fermentations secondaires. Cette expérience contrôle une fois de plus la nécessité de l'oxygène en excès pour l'absorption de l'azote.

Dans une autre, dirigée inversement, on a pris soin de faire passer lentement dans la cloche, chaque jour, un courant d'air représentant 50 litres, que l'on privait soigneusement d'ammoniaque et de poussières par l'action successive d'un flacon laveur à acide sul-

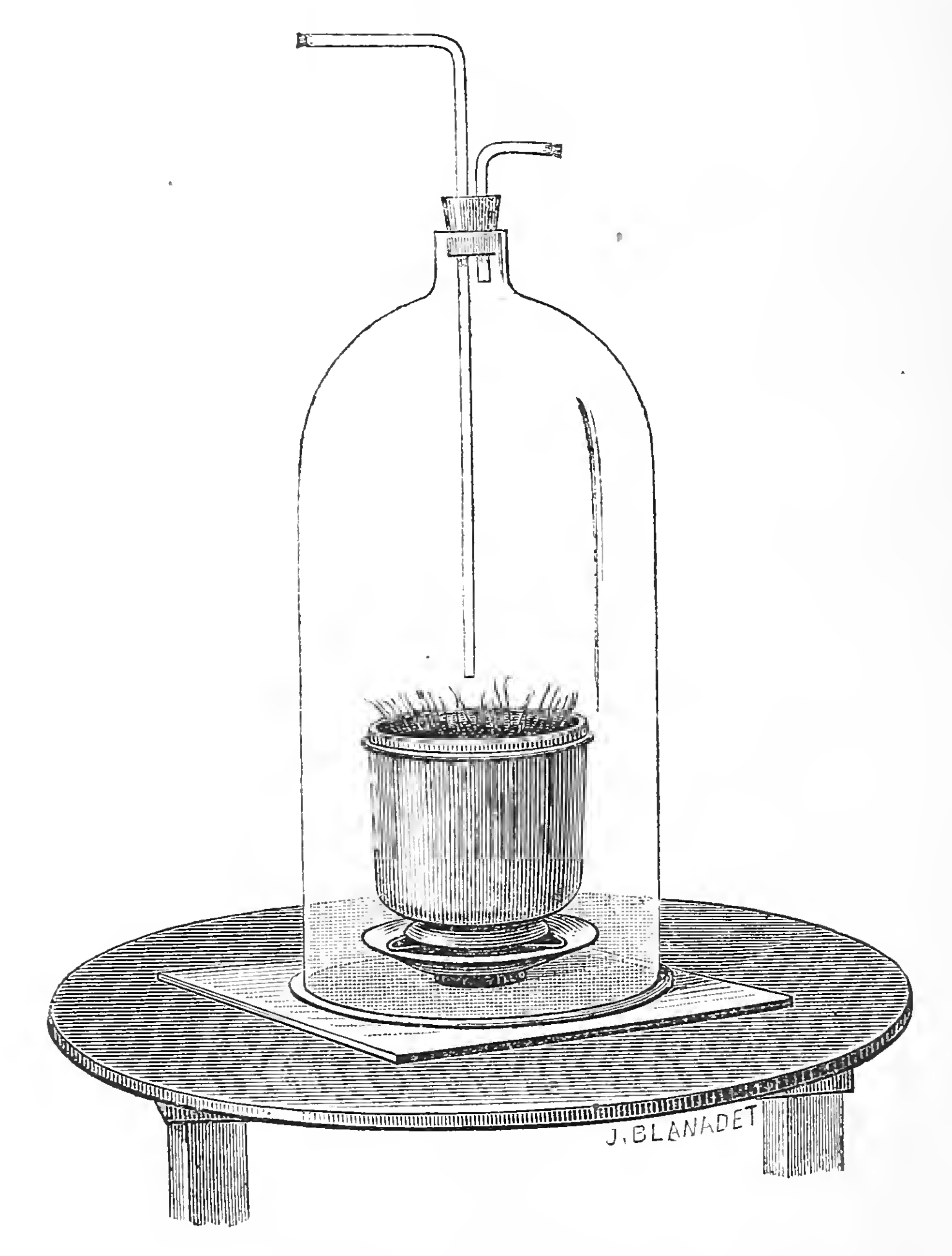


Fig. 5. — Végétation avec air renouvelé sous cloche.

furique étendu et d'un tube en U, rempli de pierre ponce imbibée avec le même acide concentré. En outre, chaque jour, un litre d'a-

cide carbonique gazeux était introduit dans la même cloche ; ce gaz agissait sur la plante, mais il était entraîné à mesure par le courant gazeux.

Pour les expériences faites à l'air libre, sans abri, on a adopté les dispositions indiquées dans la figure 5.

On a opéré sur les trois échantillons de terres définies précédemment : terre de l'enclos, terre de la terrasse, terre du parc ; terres inégalement riches en azote et inégalement aptes à en fixer.

On se proposait, dans ces essais, d'examiner spécialement l'aptitude des légumineuses à fixer l'azote, soit sous l'influence de la terre seule, soit sous l'influence de l'air seul, soit avec le concours de la terre et par son intermédiaire : opinion mixte que mes expériences tendent à appuyer, en conformité, d'ailleurs, avec celles que j'ai déjà publiées sur d'autres plantes, comme avec les expériences publiées postérieurement aux mêmes par MM. Hellriegel et Wilfarth[1]. La théorie de l'absorption initiale de l'azote par la terre, à laquelle j'ai été conduit et dont je poursuis depuis six ans l'étude méthodique, reçoit par là une confirmation tout à fait décisive.

Donnons d'abord la liste exacte des expériences présentes, exécutées parallèlement et simultanément avec les expériences faites sur la terre nue, lesquelles ont été exposées dans le précédent Mémoire. Elles ont eu lieu dans la saison d'été de 1888 et elles ont duré de six semaines à cinq mois, selon les cas.

A. — *Terre de l'enclos, avec végétation.*

1° Sous cloche, c'est-à-dire en vase hermétiquement clos :

Pot n° 54. Lupin.

Pot n° 55. Vesce.

On doit en rapprocher les expériences faites sur la terre nue, dans les mêmes conditions, avec le pot n° 53 (ce Volume, p. 459).

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 40. Vesce.

---

1. *Untersuchungen über die Stikstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen.* Berlin, novembre 1888.

Pot n° 41. Lupin.

Pot n° 42. Jarosse.

Pot n° 43. *Medicago lupulina,* mélangée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 44. Trèfle.

Pot n° 45. Luzerne.

On doit en rapprocher les expériences faites sur la terre nue, avec le pot n° 39.

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 47. Vesce.

Pot n° 48. Lupin.

Pot n° 49. Jarosse.

Pot n° 50. *Medicago lupulina* et *Anthyllis vulneraria,* etc.

Pot n° 51. Trèfle.

Pot n° 52. Luzerne.

On y joindra l'analyse du lupin développé en pleine terre, au sein du même terrain.

On doit en rapprocher aussi les expériences faites sur la terre nue, avec le pot n° 46 (ce Volume, p. 471).

Les expériences faites avec la terre de l'enclos vont du n° 39 au n° 55 sans interruption ; soit 17 pots, placés dans des conditions différentes.

B. — *Terre de la terrasse, avec végétation.*

1° Sous cloche :

Pot n° 71. Lupin.

Pot n° 72. Vesce.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue, avec le pot n° 70.

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 57. Vesce.

Pot n° 58. Lupin.

Pot n° 59. Jarosse.

Pot n° 60. *Medicago lupulina,* mêlée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 61. Trèfle.

Pot n° 62. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue, avec le pot n° 56.

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 64. Vesce.

Pot n° 65. Lupin.

Pot n° 66. Jarosse.

Pot n° 67. *Medicago lupulina,* mêlée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 68. Trèfle.

Pot n° 69. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 63.

Les expériences faites sur la terre de la terrasse vont du n° 56 au n° 72 sans interruption; soit 17 pots, placés dans des conditions différentes.

C. — *Terre du parc, avec végétation.*

1° Sous cloche :

Pot n° 37. Lupin.

Pot n° 38. Luzerne.

Pot n° 73. Lupin. Autre condition : sans addition d'acide carbonique.

Pot n° 75. Lupin. Autre condition : avec circulation d'air dépouillé d'ammoniaque et de poussières.

Vase n° 74. Lupin. Autres conditions : volume d'oxygène insuffisant et appareil clos, disposé pour mesurer le volume des gaz dégagés pendant la végétation.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 36.

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 23. Vesce.

Pot n° 24. Lupin.

Pot n° 25. Jarosse.

Pot n° 26. *Medicago lupulina,* mêlée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 27. Trèfle.

Pot n° 28. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 22.

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 30. Vesce.

Pot n° 31. Lupin.

Pot n° 32. Jarosse.

Pot n° 33. *Medicago lupilina*, mêlée de *Anthyllis vulneraria*.

Pot n° 34. Trèfle.

Pot n° 35. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 29.

Les expériences faites avec la terre du parc vont du n° 22 au n° 38 sans interruption et comprennent, en outre, les n°s 73, 74 et 75 ; ce qui fait 20 pots, placés dans des conditions différentes.

L'ensemble des études faites avec les trois terres a compris 63 expériences, exécutées parallèlement sur ces trois terres et sur six espèces de légumineuses ; sans préjudice des expériences faites dans d'autres conditions, telle qu'une série spéciale sur la stabilité de la dose d'azote combiné dans une même terre, conservée à l'abri de l'action de l'azote et des ferments.

Les conclusions générales qui se dégagent de cette longue et méthodique suite d'expériences seront exposées à la fin du mémoire. Résumons-les en deux mots :

Les terres nues sur lesquelles j'ai opéré absorbent de l'azote ; cette absorption est beaucoup plus considérable, lorsqu'on opère avec une terre ensemencée de légumineuses, et elle porte alors à la fois sur la terre et sur la plante.

On voit par là que l'azote accumulé par les légumineuses n'est pas extrait des profondeurs indéfinies du sol, comme on l'a supposé quelquefois. Le grand développement de leurs racines a surtout pour but de contracter avec la terre une union intime, éminemment favorable à l'absorption de l'azote libre, celle-ci étant déterminée sans doute par les microbes du sol, auxquels les racines fourniraient un milieu plus favorable encore.

Cet enrichissement simultané de la terre et de la plante en azote,

qui s'observe avec les légumineuses, n'a pas lieu d'une manière nécessaire, ni pour toutes les familles végétales. Parmi celles-ci, il en est, comme je l'ai montré pour les amarantes, qui sont susceptibles d'enlever au sol une portion de son azote, portion supérieure parfois à l'azote que celui-ci a fixé. *A fortiori* cet appauvrissement du sol peut-il être constaté avec les plantes qui en épuisent l'azote combiné, comme on l'admet depuis longtemps pour les graminées : ce dernier point vient d'ailleurs d'être traité en détail et simultanément par MM. Hellriegel et Willfarth, dont les conclusions générales concordent avec les miennes, obtenues d'une manière indépendante.

L'ensemble de ces résultats est fondamental : la théorie, aussi bien que la pratique agricole, devront désormais en tenir compte.

Les tableaux suivants résument les résultats observés dans une expérience pour la fixation de l'azote avec le concours des légumineuses. Un tableau est consacré à chaque plante, chacune d'elles ayant été l'objet de six essais au moins. Ces tableaux comprennent, en plus des données du précédent, le gain rapporté au poids réel de la terre finale et à son unité de poids, comparé au poids de l'azote initial de la plante. Le dernier est, en outre, dans une partie des tableaux, réparti proportionnellement aux poids constatés de l'azote entre la partie aérienne de la plante (tige, feuilles, fleurs, fruits), et la partie souterraine (racines et débris organiques visibles). Une telle répartition jette un jour nouveau sur les procédés de fixation de l'azote par les différentes espèces.

TABLEAUX.

TABLEAU II. — Vesce.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes de son azote initial[3].	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare[1].	réel.	apparent[2].		aérienne.	souterraine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos	sous cloche (55)	6	6,7	94	11,2	11,6	— 43	—34	— 9
	à l'air, sous abri (40)	11	21,3	273	11,1	13,5	+ 202	99	103
	sans abri (47)	11	24,6	316	5,0	8,4	+ 373	200	173
Terre de la terrasse.	sous cloche (72)	6	8,8	183	10,0	10,6	— 17	—10	— 7
	à l'air, sous abri (57)	11	13,4	275	2,7	6,8	+ 327	153	174
	sans abri (64)	11	15,9	328	2,5	6,2	+ 514	206,5	207,5
Terre du parc	à l'air, sous abri (23)	11	11,2	238	4,9	6,7	+ 217	97	120
	sans abri (30)	12	14,8	295	3,6	6,4	+ 337	152	185

1. Épaisseur, 18 centim. On a retranché le poids de l'azote apporté par la pluie et par l'arrosage.

2. C'est-à-dire rapporté à 1 kilogr. de terre. Tandis que le gain réel comprend seulement l'azote contenu dans la terre finale, en déduisant la matière minérale fixée sur la plante.

3. On a réparti ce gain entre la partie aérienne (tige, feuilles, fleurs, fruits, etc.), et la partie souterraine (racines et débris), proportionnellement aux poids d'azote contenus, d'après l'analyse, dans ces deux parties.

TABLEAU III. — Lupin.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes.	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare.	réel.	apparent.		aérienne.	souterraine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos.	sous cloche (54)	5	8,6	119,0	11,1	11,4	— 10,0	— 8,4	— 1,6
	à l'air libre, sous abri (41)	10	6,4	85,5	7,4	8,6	— 22,5	— 15,8	— 6,7
	sans abri (48)	10	0,23	3,2	— 1,0	+ 2,2	+ 14	7,7	6,3
Terre de la terrasse.	sous cloche (71)	7	5,7	130	7,6	8,0	— 12	— 9,6	— 2,4
	à l'air libre, sous abri (58)	10	6,2	134	6,3	7,2	+ 48	+ 34	+ 14
	sans abri (65)	10	5,2	111	7,5	8,2	— 20	— 14	— 6
Terre du parc.	sous cloche (37)	6	7,8	163	8,0	8,6	+ 6	5,3	0,7
	sous cloche sans CO^2 (73)	6	3,05	66	4,9	5,1	— 36	— 30	— 6
	sous cloche avec circulation d'air privé de AzH^3 (75)	10	11,0	238	11,3	11,5	+ 4	3	1
	à l'air libre, sous abri (24)	10	3,5	73	3,2	4,4	+ 7	5	2
	sans abri (31)	10	7,1	145	3,0	4,3	+ 30	21	9

TABLEAU IV. — Jarosse.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes.	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare.	réel.	apparent.		aérienne.	souter-raine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos.	à l'air libre, sous abri (42)	14	20,0	259	7,6	11,5	205	74	141
	sans abri (49)	14	15,0	195	2,5	7,3	199	78	121
Terre de la terrasse.	à l'air libre, sous abri (59)	15	9,0	172	4,3	5,1	121	48	73
	sans abri (66)	14	10,9	227	— 5,6[1]	+ 5,6	411	90	321
Terre du parc	à l'air libre, sous abri (25)	14	10,8	212	— 4,0[2]	— 0,2	268	98	170
	sans abri (32)	14	16,2	326	9,4	11,9	174	66	108

1. Cette perte résulte de l'énorme quantité de matière minérale fixée sur les racines, quantité qui a dû être retranchée du poids de la terre initiale. En réalité, la terre a gagné, pour un même poids : 5,6 centièmes.

2. Même observation. La perte de la terre, pour un même poids, est sensiblement nulle.

TABLEAU V. — Medicago lupulina. Vulnéraire et diverses plantes mélangées.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes.	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare.	réel.	apparent.		aérienne.	souterraine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos.	à l'air libre, sous abri (43)	22	33,7	424	12,9	13,6	825	575	250
	sans abri (50)	19	11,0	138	3,5	15,0	1 399	783	616
Terre de la terrasse.	à l'air libre, sous abri (60)	23	34,8	704	13,2	13,8	1 359	1re réc. 249 2e réc. 758	352
	sans abri (67)	23	16,4	332	5,2	11,5	708	556	152
Terre du parc	à l'air libre, sous abri (26)	23	17,5	343	0,5	0,8	1 072	733	339
	sans abri (33)	23	29,7	582	11,6	12,6	1 200	935	245

TABLEAU VI. — Trèfle.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes.	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare.	réel.	apparent.		aérienne.	souterraine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos. .	air libre, sous abri (44)	11	10,5	132	7,7	9,7	78	42	36
	sans abri (51)	11	10,8	136	5,3	9,0	170	83	87
Terre de la terrasse.	air libre, sous abri (61)	12	10,8	218	9,8	10,6	55	36	19
	sans abri (68)	11	6,5	131	5,5	6,2	52	34	18
Terre du parc . . .	air libre, sous abri (27)	11	4,5	89	— 1,5	+ 0,3	208	105	103
	sans abri (34)	10	3,9	78	0,3	1,5	173	114	59

TABLEAU VII. — Luzerne.

		DURÉE.	GAIN TOTAL d'azote		GAIN DE LA TERRE en centièmes		GAIN de la plante en centièmes.	PARTIES	
			en centièmes.	par hectare.	réel.	apparent.		aérienne.	souterraine.
		Semaines.		Kilogr.					
Terre de l'enclos.	air libre, sous abri (45)	19	37,5	468	9,1	11,0	1 174	1re réc. 152 2e réc. 399	621
	sans abri (52)	19	41,3	517	9,4	13,0	1 322	1re réc. 126 2e réc. 394	802
Terre de la terrasse.	air libre, sous abri (62)	20	28,4	600	15,0	16,3	1 010	1re réc. 139 2e réc. 425	446
	sans abri (69)	18	29,1	589	8,8	9,9	1 361	1re réc. 250 2e réc. 514	597
Terre du parc	sous cloche (38)	16	5,3	103	6,5	6,5	— 30	— 20	— 10
	air libre, sous abri (28)	21	35,8	735	12,6	14,0	1 647	1re réc. 104 2e réc. 457	1 086
	sans abri (35)	21	27,3	538	7,5	9,9	1 523	1re réc. 110 2e réc. 498	915

Résumons ces tableaux et les conclusions qui s'en dégagent, pour chacune des 6 espèces mises en expériences.

1° Pour la *vesce*, avec la terre de l'enclos et de la terrasse, le gain d'azote sous cloche a été notable, à peu près le même pour la première terre qu'avec la terre nue. Dans les deux cas, c'est la terre qui a gagné ; la plante ayant perdu une partie de son azote initial, parce que son développement n'a pas été amené à dépasser le terme auquel la plante pouvait emprunter l'azote combiné des milieux ambiants. Les racines et parties souterraines ne renfermaient d'ailleurs que la moindre partie de l'azote de la plante : ce qui montre que cette portion de la plante n'est guère intervenue.

Au contraire, lorsqu'on a opéré à l'air libre, les doses relatives d'azote fixé sur le système ont été beaucoup plus fortes : doubles ou triples, avec les terres de l'enclos, de la terrasse et du parc, de ce qu'elles étaient avec la terre nue. Elles ont été également doubles ou triples de ce qu'elles étaient avec la vesce sous cloche. Le gain relatif a été le plus fort avec la terre de l'enclos, c'est-à-dire avec la terre plus pauvre en azote ; mais les gains absolus sont du même ordre avec les trois terres.

Ce gain n'a porté d'ailleurs que pour une fraction sur la terre ; une fraction, souvent plus considérable, ayant été fixée sur la plante dont l'azote a doublé, triplé et même quintuplé.

Ce n'est pas tout : circonstance remarquable, le gain d'azote réalisé sur la plante a eu lieu à peu près également sur la partie aérienne et sur la partie souterraine ; cette dernière l'emportait même dans plusieurs circonstances. Ce rapport de l'azote gagné à l'azote initial est aussi à peu près celui de la matière organique dans les deux régions : remarque qui s'applique aussi aux plantes suivantes. De tels résultats montrent le rôle prépondérant joué par les racines des légumineuses, concourant avec la terre dans la fixation de l'azote.

C'est donc à la terre qu'elles semblent l'emprunter ; ou plutôt, il paraît se faire entre la terre et les racines de la vesce une sorte d'alliance, d'union intime et de vie commune, due à l'intervention des microbes de la terre, et en vertu de laquelle l'azote, fixé grâce à ceux-ci, se transmettrait à la plante elle-même. Mes observations à cet égard s'accordent avec celles de MM. Hellriegel et Wilfarth.

L'influence prépondérante du sol sur la fixation de l'azote, l'influence que j'ai découverte il y a quelques années, reçoit là une confirmation nouvelle et une caractéristique plus complète.

La fixation de l'azote n'a pas lieu d'ailleurs d'une façon exclusive ou même prédominante, par les végétaux inférieurs proprement dits, tels que moisissure, champignons, algues microscopiques, etc., qui peuvent se développer à la surface du sol et dont j'ai signalé plus d'une fois l'existence. En effet, si ces végétaux étaient le siège de la fixation de l'azote, la couche superficielle du sol où ils se développent devrait être la plus riche en azote; or, j'ai constaté à maintes reprises, par l'analyse, que cette couche n'offre à cet égard aucune prédominance et qu'elle tendrait même à se montrer un peu moins riche en azote que la masse totale. C'est donc dans celle-ci que résident les agents fixateurs d'azote, quelle qu'en soit la nature.

Le poids d'azote ainsi fixé sur le sol est parfois très considérable. Sur le sol nu, lorsqu'on le rapporte par le calcul à la surface d'un hectare, l'azote fixé a atteint en deux mois, avec la terre de l'enclos, même sous cloche, jusqu'à près de 90 kilogr. pour une faible épaisseur; ce chiffre restant à peu près le même soit sous cloche, soit à l'air libre, avec ou sans abri. Avec la terre du parc, la diversité de ces trois conditions ne semble pas exercer davantage une influence décisive ; en 11 semaines, la fixation peut s'élever jusqu'à 150 kilogr. par hectare calculé.

Ces valeurs devraient-elles être doublées, ou triplées, pour les rapporter à une période de six mois, et triplées encore une fois, pour les rapporter à une couche de 45 centim., ce qui les porterait, vers 300 kilogr., à même épaisseur, et vers 800 kilogr. par hectare calculé, pour une épaisseur suffisante ? C'est ce que je ne voudrais pas décider, le maximum d'effet étant peut-être limité dans les conditions où j'opérais.

A plus forte raison le maximum est-il limité, lorsqu'il s'agit de la végétation d'une plante, qui tend à évoluer dans l'espace et la surface confinés d'un pot. Or, dans cette dernière condition, les fixations d'azote observées en 3 mois ont souvent dépassé 300 kilogr. par hectare calculé. Cette fixation doit être influencée, en raison de la multiplicité des pieds semés dans un même pot, où la densité de la

végétation se trouve beaucoup plus forte que lors de la culture normale en pleine terre. Mais si l'azote fixé sur un poids donné de matière se trouve accru, par contre la plante ainsi resserrée est loin d'atteindre la même grandeur et le même développement qu'en plein champ, du moins dans sa partie aérienne ; car les racines prennent, au contraire, un développement extrême. Tels quels, les résultats observés sont tout à fait décisifs, au point de vue de la fixation de l'azote.

2° Avec le *lupin*, les résultats ont été moins bons; sans doute parce qu'ils ont été observés seulement pendant la première période de l'existence de cette plante, son développement complet s'accomplissant plus tard.

C'est avec la terre mise sous cloche que les fixations d'azote observées ont été les plus fortes; elles ont été à peu près les mêmes qu'avec la vesce. Elles répondent de même à un degré où l'évolution complète de la plante, avec emprunt d'éléments au milieu ambiant, n'a pas encore eu lieu ; la plante ayant d'ordinaire perdu de l'azote, tandis que la terre en gagnait, à la vérité, beaucoup plus.

Même à l'air libre, le lupin ne s'est guère mieux développé, pendant cette première période de sa vie.

En tout cas, lorsqu'on se limite aux débuts de son existence, le lupin est une plante peu favorable à ce genre d'expériences; contrairement à l'espoir qui me l'avait fait choisir au début. De même, pendant cette période initiale, l'azote est toujours demeuré prépondérant dans la partie aérienne du lupin, la partie souterraine n'ayant guère paru concourir à sa fixation. Toutes ces données demeurent, on le voit, corrélatives.

3° La *jarosse* donne au contraire des résultats très remarquables; malheureusement aucun essai n'a été fait sous cloche avec cette plante. Les proportions d'azote fixé monteraient à 200 kilogr. ou 300 kilogr. par hectare calculé. Le gain relatif est le plus grand avec la terre de l'enclos, qui est la plus pauvre en azote; mais les gains absolus par hectare sont du même ordre avec les diverses terres. Ils le sont également pour la plante, et plus que pour la terre même; car, dans la plante, l'azote a doublé et même quadruplé.

Enfin, et ce fait est caractéristique, c'est sur la racine de la jarosse que l'azote se trouve surtout concentré ; car il s'y trouve en proportion double et même quadruple de la partie aérienne. L'alliance intime du sol et de la partie souterraine de la plante trouve ainsi une nouvelle confirmation; confirmation d'autant plus frappante que la racine a fixé sur elle-même, dans un cas, jusqu'au neuvième de la portion minérale du sol contenu dans le pot.

4° Avec le *Medicago lupulina,* mêlé de vulnéraire et plantes diverses, les gains d'azote se sont élevés plusieurs fois au tiers de l'azote primitif du système. Les gains absolus ont été plus forts avec les terres du parc et de la terrasse et ils ont monté jusqu'à 600 kilogr. et 700 kilogr. par hectare calculé, en cinq mois.

Le gain de la terre seule ne dépasse pas 13 centièmes et il est du même ordre qu'avec les plantes précédentes. Mais l'azote des plantes est devenu 7 fois, 8 fois, 12 fois et jusqu'à 14 fois aussi considérable que sa dose primitive.

La lenteur plus grande du développement de la plante a dû concourir à ces résultats.

Dans le cas présent, la répartition entre la partie aérienne et la partie souterraine est toute différente de celle qui existe pour la jarosse; l'azote de la partie aérienne surpassant celui de la partie souterraine, parfois même dans le rapport de 4 à 1.

5° Le *trèfle* a donné des résultats médiocres, intermédiaire entre le lupin et la jarosse : cette légumineuse s'est mal développée dans les conditions de mes essais, probablement en raison de leur durée trop limitée. Cependant il y a toujours eu gain d'azote. Ce gain a eu lieu pour les terres les plus pauvres, à la fois par la terre et par la plante ; mais la terre la plus riche, celle du parc, n'a pour ainsi dire rien gagné, la plante lui ayant enlevé à mesure l'azote fixé. La partie aérienne et la partie souterraine de la plante renferment le plus souvent des doses à peu près égales d'azote; avec quelques cas de prépondérance dans la partie aérienne.

6° La *luzerne,* enfin, a donné les gains d'azote les plus forts de tous : gains s'élevant à 500 kilogr., 600 kilogr. et même au delà de 700 kilogr. par hectare calculé. Sous cloche, elle ne s'est guère développée mieux que le lupin; mais à l'air libre, avec ou sans abri,

l'azote s'est accru jusqu'aux 30 et 40 centièmes de sa dose initiale dans le système total (terre et plante réunies). L'influence de l'absence d'abri, c'est-à-dire celle de la pluie, a été minime, comme d'ailleurs dans les cas précédents.

Ce gain d'azote n'a porté que pour une dose limitée sur la terre, souvent le tiers ou le quart de l'azote total fixé sur le système; dose comparable en gros à celle observée avec la vesce et le *Medicago lupulina*. Mais l'azote de la luzerne a pris plus d'accroissement que pour aucune autre plante, la dose en étant devenue jusqu'à 16 fois celle de l'azote initial; *Medicago lupulina* se rapproche cependant de la luzerne à cet égard. La grandeur de la fixation d'azote sur ces deux plantes est certainement liée avec la durée plus longue des expériences faites sur elles et avec le degré plus avancé de leur végétation.

L'azote fixé sur la luzerne se rapportait, pour la majeure partie, à la région souterraine; tandis que la partie aérienne de la première récolte n'en contenait qu'une fraction relativement faible, celle de la seconde récolte étant plus notable.

Cette prépondérance des racines de la luzerne s'accorde avec l'accumulation des matières minérales tirées du sol, qui caractérise les racines de cette plante. Elle a lieu sans doute, je le répète, en vertu d'une vie commune aux microbes de la terre et de la plante; et elle atteste l'origine réelle de l'azote fixé sur les légumineuses. Enfin elle concourt à rendre compte de la végétation persistante des légumineuses pendant plusieurs années consécutives.

Toutes ces circonstances corroborent et précisent, je le répète, le grand fait de la fixation de l'azote par le sol, et elles montrent comment il intervient avec le concours de la végétation, celui des racines spécialement, dans l'accumulation de l'azote, observée depuis longtemps pendant la culture de certaines légumineuses. Une multitude de phénomènes de la plus haute importance pour l'agriculture trouvent par là leur interprétation.

DIXIÈME MÉMOIRE

De la fixation de l'azote dans les oxydations lentes[1].

L'oxydation lente de certains composés organiques définis, celle de l'éther notamment, forme des traces d'acide azotique.

ONZIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Recherches nouvelles sur la fixation de l'azote par la terre végétale et les plantes et sur l'influence de l'électricité sur ce phénomène[2].

Je rappellerai d'abord que, sous l'influence des fortes tensions électriques, et indépendamment de l'étincelle, la plupart des composés organiques absorbent l'azote libre, dès la température ordinaire[3]. Cette fixation a lieu notamment avec la cellulose et les hydrates de carbone, même sous l'influence d'un potentiel fixe et de faibles tensions. Mais, tandis qu'elle est rapide et énergique sous l'influence des grands potentiels, elle exige plusieurs mois pour accumuler de faibles doses d'azote sur le papier et sur la dextrine, lorsqu'on opère avec des potentiels peu élevés, comparables à ceux de l'électricité atmosphérique normale.

Il n'est pas facile d'imiter expérimentalement les actions de ce genre et de reproduire les conditions exactes où elles sont susceptibles de s'exercer dans la nature, sur la terre, sur les microbes qui la peuplent et sur les végétaux qui s'élèvent à sa surface. Les conditions auxquelles je me suis arrêté dans les essais actuels ont consisté à placer la terre seule et la terre avec plantes dans un champ électrique, en maintenant, au moyen d'une pile ouverte, une différence de potentiel constante entre la terre, d'une part, et, d'autre part, la surface extérieure du champ électrique, limitée par des feuilles métalliques, étain et toile de fils de cuivre. Les dispositions adoptées sont décrites dans le mémoire, la figure suivante en donnera une idée pour la terre nue. Ces conditions sont loin d'être les seules que l'on puisse imaginer,

1. *Annales de chimie,* 6e série, t. XVII, p. 500-507.
2. *Annales de chimie,* 6e série, t. XIX, p. 434.
3. Voir le résumé de mes expériences dans l'*Essai de mécanique chimique,* t. II, p. 383.

ni peut-être les plus favorables. Mais elles m'ont paru se rapprocher autant que possible de celles où s'exerce l'influence normale de l'électricité atmosphérique. La plupart des essais exécutés jusqu'à ce jour l'ont été par des procédés tout différents et qui n'ont qu'un rapport éloigné avec les conditions ordinaires de la végétation dans la nature.

A l'origine, l'abbé Nollet, suivi en cela par la plupart des expérimentateurs, se bornait à produire au travers de la plante et par ses extrémités l'écoulement de l'électricité fournie par une machine ordinaire. Dans ces conditions, l'évaporation est fort activée ; peut-être aussi certaines fonctions de la plante. Mais si ces conditions ont quelque ressemblance avec l'action électrique exercée sur les plantes en temps d'orage, elles n'ont au contraire qu'une analogie fort éloignée avec l'action normale de l'électricité atmosphérique, agissant par de faibles tensions et sans faire intervenir cet écoulement énorme de fluide qui se produit pendant l'action d'une machine.

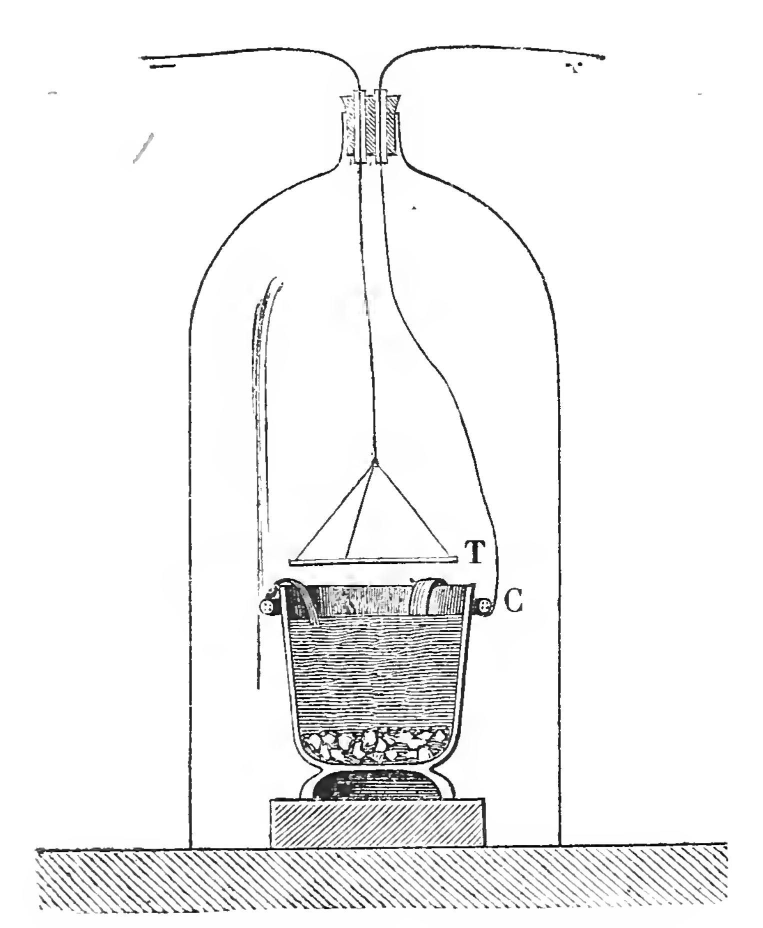


Fig. 6. — Terre placée dans un champ électrique.

On a encore essayé de faire passer le courant électrique d'une pile, soit à travers la terre où se développent les plantes, soit à travers les plantes elles-mêmes. M. A. Gautier a annoncé qu'il avait entrepris des essais dans cette direction. Quel qu'en puisse être l'intérêt, ils s'appliquent à des conditions spéciales et étrangères aux phénomènes naturels ; car le courant de la pile développe sur son passage des réactions d'électrolyse et donne lieu à des oxydations et à des réductions d'un caractère tout particulier, lesquelles n'ont pour ainsi dire rien d'analogue avec ce qui se passe dans la végétation normale d'une plante.

La condition qui m'a paru se rapprocher le plus de celles où agit l'électricité atmosphérique normale consiste à opérer au sein d'un

champ électrique, dont les limites offrent une différence de potentiel déterminée et au milieu duquel on effectue le développement de la plante : cette condition n'avait pas, à ma connaissance, été réalisée jusqu'à ce jour.

J'ajouterai que je ne me suis pas attaché spécialement à rechercher si une plante offre une apparence de développement plus rapide ou plus avancé sous l'influence de l'électricité, phénomènes dont la définition est vague et incertaine. Mais j'ai examiné si la plante et la terre fixent, sous l'influence de l'électricité, une dose d'azote supérieure à celle qu'elles peuvent fixer dans des conditions similaires sans électricité, phénomène susceptible d'une mesure exacte et d'une définition précise.

Les résultats observés paraissent positifs : je les exposerai tels quels et sans prétendre en tirer des conclusions trop étendues, spécialement en ce qui touche les questions suivantes, sur lesquelles ils fournissent cependant des indications intéressantes :

L'électricité agit-elle en fixant directement l'azote sur les principes organiques du sol, indépendamment de la vie des êtres qu'il renferme, comme elle le fait sur les hydrates de carbone ? Cela ne se concevrait guère : en effet, du moment où les principes immédiats de certains êtres organisés servent de support à l'azote, la fixation de cet élément devient corrélative de la formation des principes azotés par les êtres vivants eux-mêmes. L'électricité agit-elle dès lors uniquement en activant la vitalité des microbes du sol ? ou bien la vitalité des végétaux supérieurs ? Enfin, ces diverses actions s'exercent-elles simultanément ?

Je vais donner la liste des expériences, avec indication des conditions générales où je me suis placé.

I. — *Terre nue (contenant des microbes divers).*

Deux échantillons de terre ont été employés : l'une, la terre N, non saturée d'azote ($1^{gr},218$ par kilogr. sec) ; l'autre, la terre S, à peu près saturée d'azote ($1^{gr},702$ par kilogr. sec), c'est-à-dire presque incapable d'en absorber une nouvelle dose ; en raison principalement de sa composition comme matière organique et surtout d'après les expériences antérieures faites avec cette même terre.

On a opéré par couples d'expériences similaires, l'un des échantillons étant électrisé, l'autre n'éprouvant point d'action électrique spéciale. Le potentiel a été pris tantôt égal à 33 volts, tantôt à 132 volts. Enfin chaque expérience a été faite à la fois et simultanément à l'air libre, sous un abri et sous cloche.

Tous les systèmes ont été expérimentés dans des pots de porcelaine, et un certain nombre dans des assiettes.

Voici la liste méthodique des essais :

N° 107. Terre N ; nue, air libre, non électrisée ; assiette.
N° 108. Terre N ; nue, air libre, électrisée ; assiette.
N° 111. Terre N ; nue, sous cloche, non électrisée ; assiette.
N° 109. Terre N ; nue, sous cloche, électrisée ; potentiel, 33 volts ; pot.
N° 110. Terre N ; nue, sous cloche, électrisée ; potentiel, 132 volts ; pot.
N° 84. Terre S ; nue, air libre, non électrisée ; pot et assiettes.
N° 87. Terre S ; nue, air libre, électrisée, 33 volts ; pot et assiettes.
N° 78. Terre S ; nue, sous cloche, non électrisée ; pot et assiettes.
N° 81. Terre S ; nue, sous cloche, électrisée, 33 volts ; pot et assiettes.

II. — Terre et végétaux.

On a opéré avec les deux mêmes terres, savoir : la terre N, non saturée d'azote ($1^{gr},218$ par kilogr.), et avec la terre S, à peu près saturée ($1^{gr},702$ par kilogr.) ; on a employé deux espèces végétales différentes, toutes deux appartenant à la famille des Légumineuses, la Vesce et la Jarosse ; enfin, on a toujours mis en œuvre des couples similaires, l'un électrisé, l'autre ne subissant pas d'action électrique. Tous les systèmes étaient placés dans des pots de porcelaine, comme à l'ordinaire.

Voici la liste méthodique des essais :

N° 106. Terre N ; Vesce, air libre, non électrisé ; N° 105. Terre N ; Vesce, air libre, électrisé.	A rapprocher des n°s 107, 108.
N° 82. Terre S ; Vesce, air libre, non électrisé ; N° 85. Terre S ; Vesce, air libre, électrisé.	A rapprocher des n°s 84, 87.
N° 83. Terre S ; Jarosse, air libre, non électrisé ; N° 86. Terre S ; Jarosse, air libre, électrisé.	De même.
N° 76. Terre S ; Vesce, sous cloche, non électrisé ; N° 79. Terre S ; Vesce, sous cloche, électrisé.	A rapprocher des n°s 78, 81.
N° 77. Terre S ; Jarosse, sous cloche, non électrisé ; N° 80. Terre S ; Jarosse, sous cloche, électrisé.	De même.

Les tableaux suivants résument les résultats observés :

TABLEAU I. — Absorption de l'azote par la terre nue, avec le concours de l'électricité.

Durée : 9 semaines.

CONDITIONS.				GAIN RELATIF en azote.
Terre N, non saturée d'azote (1gr,218 pour 1 kilogr. sec[1]).	Air libre sous abri transparent	Non électrisée (107)		Nul sensiblement.
		Électrisée (33 volts) [108]		Id.
	Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (111)		Id.
		Électrisée. Potentiel (33 volts) [109]		4,4 centièmes.
		— — (132 volts) [110]		6,1 centièmes.
Terre S, presque saturée d'azote (1gr,702 pour 1 kilogr.[2])	Air libre sous abri transparent	Non électrisée (84)		2,2 centièmes.
		Électrisée (33 volts) [87]		3,6 centièmes.
	Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (78)	Au bout d'un mois	Nul sensiblement.
			Au bout de 9 semaines.	2,8 centièmes.
		Électrisée (30 volts) [81]	Au bout d'un mois	Nul sensiblement.
			Au bout de 9 semaines.	4,4 centièmes.

1. Les expériences faites avec cette terre ont été exécutées dans des assiettes, sur une couche mince : ce qui est une condition défavorable.
2. Les expériences faites avec cette terre ont été exécutées dans des pots, sur une profondeur de 18 centim. environ.

TABLEAU II. — Absorption de l'azote avec le concours de la végétation.

On a opéré sur 3 kilogr. de terre environ chaque fois.

	PLANTES.	CONDITIONS.		DURÉE de l'expérience.	GAIN TOTAL d'azote. En poids.	GAIN TOTAL d'azote. En centièmes.	GAIN de la terre. En poids.	GAIN de la terre. En centièmes.	GAIN de la plante. En poids.	GAIN de la plante. En centièmes.	PARTIES aérienne.	PARTIES souterraine.
					Gr.		Gr.		Gr.			
Terre N, non saturée d'azote (1gr,218 pour 1 kilog. sec).	Vesce.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (103). . .	2 mois	0,665	15,0	0,435	12,6	0,231	142	72	70
			Électrisée (33 volts) [105]	2 —	0,981	22,5	0,916	22,5	0,018	11	9	2
Terre S, à peu près saturée d'azote (1gr,702 pour 1 kilog. sec).	Vesce.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (82) . . .	1 —	0,2135	4,0	0,179	3,4	0,0455	18	10	8
			Électrisée (33 volts) [95].	1 —	0,338	6,2	0,329	6,2	0,009	5	3	2
		Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (76) . . .	1 —	0,383	7,0	0,340	6,4	0,027	19	9	10
			Électrisée (33 volts) [79].	1 —	0,273	5,0	0,204	3,9	0,070	41	22	19
	Jarosse.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (83) . . .	9 semaines	0,236	4,3	0,151	2,9	0,081	55	30	25
			Électrisée (86)	9 —	0,331	6,1	0,256	4,8	0,079	54	37	17
		Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (77) . . .	9 —	—0,004	nul	—0,026	—0,5	0,025	17	10	7
			Électrisée (80)	9 —	0,392	7,2	0,401	7,6	—0,020	—13	—11	— 2

En résumé, les gains d'azote opérés sous l'influence de la végétation ont été constamment plus forts avec les vases électrisés qu'avec les vases non électrisés, et cela sous cloche aussi bien qu'à l'air libre, et malgré l'infériorité causée par l'inégalité d'éclairage des vases électrisés. Ces effets ont été obtenus avec des vases placés dans un champ électrique, dont l'action était assimilable à celle de l'électricité atmosphérique.

La même conclusion résulte des essais exécutés sur la terre nue, je veux dire pourvue de ses microbes, mais exempte de végétaux supérieurs.

L'ensemble de ces résultats paraît donc rendre très vraisemblable une action propre de l'électricité pour activer la fixation de l'azote, à la fois sur la terre et dans le cours de la végétation.

DOUZIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Observations sur la formation de l'ammoniaque et de composés azotés volatils, aux dépens de la terre végétale et des plantes.

C'est un fait observé par les botanistes que les plantes cultivées dans une atmosphère restreinte et humide tendent le plus souvent à dépérir : elles sont, dit-on, *asphyxiées* par la vapeur d'eau, même en présence de doses d'acide carbonique et d'oxygène convenables. Cependant, dans une atmosphère illimitée, la présence de l'eau, sous forme liquide et gazeuse, est au contraire réputée favorable à la végétation : il y a là une contradiction qui doit tenir à l'intervention de quelque cause spéciale, jusqu'ici méconnue.

J'ai reconnu pareillement, dans mes expériences sur la végétation, exécutées dans des cloches closes de 45 litres à 50 litres, qu'un renouvellement d'air quotidien s'élevant à un volume égal, c'est-à-dire à 50 litres, ne suffit pas pour assurer le développement normal des plantes ; celles-ci ne gagnant guère de carbone, malgré l'introduction de doses convenables d'acide carbonique. En faisant passer

150 litres d'air (pendant une heure par jour), la végétation s'effectue mieux, et la plante finit par s'enrichir à la fois en carbone et en azote : cependant sa végétation n'est pas encore normale. Des faits du même ordre ont été signalés par d'autres observateurs.

Ces faits sont d'ailleurs analogues à ceux qui ont été vérifiés sur l'homme et sur les animaux supérieurs, auxquels le séjour prolongé dans une atmosphère confinée, même suffisamment riche en oxygène et pauvre en acide carbonique, finit par devenir nuisible ; tandis qu'ils vivent mieux dans une atmosphère libre et illimitée.

La différence entre ces effets, dans le cours de la vie animale, serait due, d'après MM. Brown-Séquard et d'Arsonval, à une sorte d'auto-infection, produite par de petites quantités de ptomaïnes ou autres composés volatils, maintenus en rapport avec l'être vivant dans une atmosphère restreinte.

Je suis arrivé à constater l'existence de principes du même ordre dans une atmosphère confinée, en contact avec la terre seule, ou couverte de végétaux.

Le dispositif de mes expériences, faites sous une cloche de 50 litres, ajustée sur une grande capsule de verre, se prêtait particulièrement à ce genre d'essais. En effet, la vapeur d'eau qui s'exhale de la terre et des plantes contenues dans le pot central vient se condenser aux parois de la cloche et ruisselle jusqu'au fond de la capsule, où elle se réunit. Si donc on a soin, d'une part, d'arroser de temps en temps la terre par la tubulure supérieure de la cloche, et, d'autre part, d'évacuer l'eau condensée, à l'aide du robinet inférieur de la capsule, il est facile de récolter des doses d'eau considérables : elles se sont élevées jusqu'à près de 2 litres dans mes essais.

Il faut éviter soigneusement de laisser ruisseler ces eaux à travers la terre même, dont elles pourraient dissoudre certains principes ; sans préjudice de l'action nuisible que les principes azotés des eaux de condensation seraient capables d'exercer sur les plantes ou microbes développés dans cette même terre. Ce phénomène nuisible est susceptible d'intervenir lorsqu'on opère avec de la terre humide, contenue dans un flacon qu'elle remplit en grande partie.

L'eau condensée dans la capsule, fort limpide d'ailleurs en raison de sa formation régulière par distillation, a été, au fur et à mesure

de son extraction, additionnée d'un peu d'acide sulfurique étendu, jusqu'à réaction nettement acide, puis conservée en flacons pour les analyses. Il ne s'y est pas développé de moisissures, dans les conditions où j'opérais.

On y a déterminé l'ammoniaque (et les alcalis volatils) en la faisant bouillir avec un peu de magnésie, suivant les procédés connus. La condensation opérée incessamment dans un réfrigérant ascendant permet, comme on sait, de séparer le gaz ammoniac de l'eau et des bases peu volatiles qui retombent avec l'eau dans le matras renfermant le liquide en ébullition. Cela fait, l'eau mère restée dans le matras a été filtrée, neutralisée et amenée à réaction acidule. Puis on l'a évaporée au bain-marie ; on a dosé dans le résidu l'azote organique par la chaux sodée.

Les composés qui renferment ce dernier azote sont, ou les principes azotés initiaux, exhalés sous de faibles tensions par la terre et par les plantes, en même temps que la vapeur d'eau et l'ammoniaque ; ou des principes dérivés de l'altération de ceux-là, par les actions combinées de l'air et de l'eau. La fixité relative de ces divers principes azotés et la présence du carbone au nombre de leurs éléments indiquent parmi les produits exhalés par la terre et les plantes la préexistence de certains principes organiques azotés, leurs identiques ou leurs générateurs, et comparables aux ptomaïnes. La dose en était trop faible d'ailleurs pour permettre une étude spéciale.

Terre nue.

Il résulte de ces expériences que la terre végétale humide et nue exhale dans l'atmosphère supérieure des traces d'ammoniaque et d'autres composés azotés volatils ; la dose exhalée réellement est même fort supérieure aux chiffres ci-dessus, la terre ayant dû réabsorber à mesure et par places l'ammoniaque et les vapeurs azotées qu'elle exhalait sur d'autres points ; on n'observe donc que la différence compensatrice entre deux effets de signe contraire. Rappelons d'ailleurs que nous avons déjà signalé, M. André et moi, l'émission de l'ammoniaque par un sol illimité et par la terre, placée dans diverses autres conditions.

Ces faits prouvent que la terre végétale, loin de dépouiller entièrement d'ammoniaque et de composés azotés volatils l'atmosphère qui l'environne, en émet, au contraire, une certaine quantité.

Terre avec végétation.

La végétation, dans les conditions où j'opérais, a été constamment accompagnée par une exhalaison d'ammoniaque et d'autres composés azotés volatils ; exhalaison très faible d'ailleurs et de l'ordre de grandeur, ou plutôt de petitesse observé avec la terre nue. Quelque minime qu'elle soit, elle mérite pourtant beaucoup d'attention : d'abord parce qu'elle établit que la terre et les plantes émettent de l'ammoniaque et des corps azotés volatils dans leur état normal ; et, en second lieu, parce que les composés azotés volatils émis par les êtres vivants sont souvent doués d'une extrême activité physiologique et toxique vis-à-vis des êtres mêmes qui les ont sécrétés.

TREIZIÈME MÉMOIRE

Sur la fixation de l'azote atmosphérique par la terre et les végétaux.

On enseignait partout, il y a quelques années, que l'azote libre de l'atmosphère ne joue aucun rôle en végétation ni en agriculture. C'était la doctrine classique, à part quelques protestations isolées. A l'heure présente, cette doctrine paraît abandonnée. Ce changement dans l'opinion des savants a été provoqué, qu'il me soit permis de le rappeler, par mes recherches poursuivies depuis sept ans, tant sur la terre nue que sur la terre pourvue de végétaux, avec un enchaînement méthodique, une variété d'expériences, publiées depuis 1885, et une multiplicité de contrôles qu'il ne m'appartient pas d'apprécier. Mes recherches en ont suscité d'autres, qui en ont vérifié les résultats généraux, en même temps qu'elles conduisaient à des découvertes originales.

L'influence des Légumineuses, affirmée depuis si longtemps par M. G. Ville, a été retrouvée, avec une signification imprévue, par mes travaux et par ceux de MM. Hellriegel et Willfarth, exécutés parallèlement, annoncés en 1887 et publiés de même en détail en 1888.

Les uns et les autres, aussi bien que ceux de M. Dehérain et de M. Joulie, ont établi la fixation simultanée de l'azote par la terre végétale.

J'ai montré que cette fixation s'opère sous l'influence de certains microbes, et MM. Hellriegel et Willfarth, ainsi que M. Bréal, ont confirmé et précisé le rôle de ces microbes, en tant que donnant lieu à une véritable symbiose, ou vie commune à la terre et à la plante. Enfin j'ai établi que certaines terres nues (c'est-à-dire pourvues de leurs microbes), sables argileux d'abord, puis terres végétales proprement dites, avaient la faculté de fixer l'azote, aussi bien en l'absence des végétaux supérieurs qu'avec le concours des Légumineuses : mes expériences sur ce point ont été répétées avec succès par M. Frank, de Berlin; par M. Pichard et, d'une manière plus décisive encore, par M. Tacke [1].

Toutes ces découvertes et observations sur la terre et sur les êtres vivants qui s'y développent portent sur les phénomènes connexes, que j'ai étudiés simultanément sur la terre nue, sur ses microbes et sur les végétaux supérieurs; phénomènes qu'il n'est pas possible de traiter comme indépendants les uns des autres et dont l'ensemble et la concordance mettent au-dessus de toute contestation le fait fondamental de la fixation de l'azote libre de l'atmosphère par le concours des matières minérales et des êtres vivants. J'en réclame l'initiative, sans méconnaître ni l'importance des travaux d'autres expérimentateurs, ni les points qui restent à éclaircir avec le concours du temps.

---

1. *Landwirthschaftliche Jahrbücher*, p. 439; 1889.

SECONDE SÉRIE

ÉTUDES SUR LA MARCHE GÉNÉRALE DE LA VÉGÉTATION DANS UNE PLANTE ANNUELLE [1]

Par MM. **BERTHELOT** et **ANDRÉ**

En entreprenant une suite systématique de recherches sur la chimie végétale, nous avons pensé que ces recherches devaient être établies sur une base commune, destinée à servir de point de repère aux comparaisons; on veut parler d'une étude de la marche générale de la végétation, donnant l'équation chimique de la plante, comme composition relative et comme poids absolu, à chaque instant et pour chaque période de son développement. Certes, le sujet est immense; la multitude et la diversité des plantes connues sont trop grandes pour qu'on puisse essayer de l'embrasser ainsi d'un seul coup. Mais il suffisait, pour le but que nous avions en vue, de définir la marche de la végétation sur un certain nombre de plantes annuelles, choisies parmi celles que nous nous proposions d'étudier plus particulièrement, au point de vue de la formation de principes immédiats déterminés, les azotates par exemple.

Nous avons donc tâché de définir la composition immédiate de ces espèces, aux diverses époques de leur évolution et dans leurs diverses parties, en la rapportant aux principes fondamentaux constitutifs de leurs tissus. Ajoutons que cette étude ne peut guère être exécutée avec fruit que sur des plantes annuelles. En effet, dans les arbres et arbrisseaux ligneux, la végétation accumule d'année en année des réserves d'hydrates de carbone et d'autres principes : réserves qui, une fois formées, n'entrent plus directement et en totalité dans le cycle des transformations et des échanges incessants

---

1. *Annales de chimie et de physique*, 6e série, t. V, p. 392.

entre la plante, le sol et l'atmosphère. Ce n'est pas qu'elles n'y jouent un certain rôle, rôle capital même à certains moments; mais il est plus difficile à définir que dans les plantes annuelles et il ne pourra être tout à fait précisé que quand les réactions opérées au sein de celles-ci seront exactement connues.

Voilà comment nous avons été conduits à exécuter une première série d'analyses, destinées à définir la marche générale de la végétation. Ces analyses et les déductions qui en résultent font l'objet de quatre Mémoires, que nous allons présenter d'abord et qui serviront de préliminaires à la suite de nos recherches. En réalité, ces analyses ont été faites en même temps que celles de nos travaux relatifs aux azotates; les derniers travaux ayant les premiers pour préliminaires obligés. Mais, pour éviter toute confusion, il est nécessaire de les présenter séparément. J'ajouterai que les résultats obtenus ne cesseront pas d'être complétés et étendus, rectifiés même probablement sur plus d'un point, par nos recherches ultérieures sur d'autres espèces végétales, ainsi que sur la formation des autres principes.

En résumé, nous allons exposer aujourd'hui (1885) deux séries de recherches complètement terminées, l'une relative à la marche générale de la végétation, l'autre relative à la formation des azotates dans les plantes.

PREMIER MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Méthodes d'analyse.

Pour définir le développement d'un principe immédiat déterminé dans une plante, il ne suffit pas de rechercher par les analyses la proportion de ce principe dans un échantillon quelconque de la plante, ni même d'en mesurer la proportion dans les diverses parties de la plante et aux diverses époques de sa vie. Ces analyses sont nécessaires, mais elles ne suffisent pas. En effet, l'étude d'une seule formation exige l'étude complète de la vie de la plante pendant une période annuelle; car la vie repose sur un ensemble de fonctions,

et l'on ne peut examiner séparément l'une de celles-ci, sans définir, au moins d'une manière générale, ses relations avec le tout dont elle fait partie. C'est ainsi que nous avons été conduits à faire l'analyse totale des plantes étudiées et à établir en quelque sorte l'équation chimique de chacune d'elles pendant son développement : à partir de la graine qui l'engendre, jusqu'à sa fructification et jusqu'à la reproduction de la graine elle-même.

Nous avons fait en même temps des expériences proprement dites, destinées à varier les conditions physiologiques de l'évolution végétale : ce qui a accru encore le nombre des analyses.

Enfin, de cet ordre de recherches, ce n'est pas assez d'opérer sur une espèce unique ; mais on doit multiplier les termes de comparaisons, en prenant d'abord des espèces voisines, appartenant au même genre ou à la même famille; sauf à appliquer les résultats obtenus à d'autres familles et à des groupes de plus en plus dissemblables. Les études s'étendraient ainsi d'une façon pour ainsi dire illimitée, s'il n'était nécessaire de s'arrêter à de certains groupes, afin d'arriver à des conclusions définies.

Nos recherches ont été dirigées d'abord vers l'étude de la formation des azotates; elles ont compris dix espèces botaniques. Ces espèces ont été étudiées pendant la saison de 1883, d'une façon méthodique et comparative, tant au point de vue spécial des azotates qu'au point de vue de la marche générale de la végétation. Nous parlerons seulement aujourd'hui de ce dernier ordre d'analyses.

Les espèces expérimentées sont les suivantes :

Amarantacées.

Amarantus melancolicus ruber.
Amarantus caudatus.
Amarantus nanus.
Amarantus bicolor.
Amarantus giganteus.
Amarantus pyramidalis.
Célosie panachée.

sans préjudice de diverses autres espèces ou variétés appartenant à la même famille, telles que les *Amarantus sanguineus, paniculatus* et *speciosus*.

Borraginées.

Borrago officinalis.
Symphytum officinale (*grande consoude*).

Enfin notre étude a porté sur une plante de la famille des LÉGUMINEUSES, la *luzerne* (*Medicago sativa*).

Pour chacune des espèces principales, nous avons exécuté l'analyse complète de la plante et de chacune de ses parties, dans les conditions suivantes de son évolution :

1° Graine;

2° Plantule, aux débuts de la germination ;

3° Dans certains cas, où la germination avait été opérée sous châssis : petite plante au moment du repiquage;

4° Plante avant la floraison ;

5° Plante en pleine floraison ;

6° et 7° Plante pendant la fructification ;

8° Plante au moment où elle commence à se dessécher sur pied.

Diverses expériences ont été faites, en outre, telles que la dessiccation de la plante sur pied, la suppression des inflorescences, etc. ; afin d'examiner l'influence de ces conditions sur le développement des divers principes immédiats et sur celui des différentes parties de la plante.

Les analyses ont eu pour but de déterminer :

1° Les poids absolus et relatifs de la plante, à chacune des époques ci-dessus, ainsi que le poids de ses différentes parties;

2° Les poids des principes fondamentaux, contenus à chaque époque dans la plante totale ;

3° Le poids de ces mêmes principes, dans chacune de ses parties, toujours à chaque époque de la végétation.

Dans ce but on fait ensemencer, à l'époque convenable de l'année, 25 à 50 mètres carrés de terrain, avec la graine de la plante que l'on veut étudier. Pour certaines espèces, on fait lever la graine sous châssis et on la repique ensuite sur le terrain.

On obtient ainsi les végétaux en quantité suffisante pour les analyses. Au début, celles-ci portent un grand nombre de petits pieds et

représentent des moyennes. Plus tard, le nombre des pieds diminue de plus en plus. On en prend note exactement dans chaque analyse.

Voici comment on procède à celle-ci.

DIVISION DE LA PLANTE

La plante, arrachée du sol avec toutes ses parties, est pesée et aussitôt partagée en ses diverses parties, lesquelles sont pareillement pesées à mesure, à savoir :

Racines, tige, feuilles, dans tous les cas ;

Et en outre, s'il y a lieu : radicelles, fleurs, pétioles et grosses nervures, lesquelles sont pesées séparément.

Le partage et les pesées doivent être exécutés *aussitôt après que la plante a été tirée de terre* et sans attendre un commencement de dessiccation ; celle-ci pouvant avoir pour effet de changer la répartition relative des matières solubles entre les diverses parties de la plante, suivant que l'évaporation, plus ou moins active dans telle ou telle région de la plante, y amène les sucs végétaux en plus ou moins grande abondance. Il est facile de constater qu'il en est réellement ainsi sur les plantes desséchées sur pied : les azotates, par exemple, s'accumulent alors dans les feuilles et les extrémités qui n'en contenaient au contraire que des traces dans la plante en pleine activité de vie.

Lorsque la plante est trop petite, aux débuts de la végétation, par exemple, son fractionnement n'est pas possible et l'on opère sur la plante totale.

On procède à la pesée des parties de la plante.

On prélève ensuite les échantillons destinés aux analyses.

I. — *Eau et matière fixe.*

On prend la partie de la plante envisagée et on la sèche à l'étuve à 110 degrés, pendant douze heures environ, jusqu'à ce que le poids ne varie plus ; de façon à déterminer les quantités relatives d'*eau* et de *matière fixe* dans chaque partie de la plante.

Le poids des diverses parties humides et sèches de la plante étant ainsi déterminé, on en déduit :

Le *poids total de la plante sèche et humide ;*

Et par suite le *poids total de l'eau* qu'elle renfermait.

Ce sont là des données fondamentales, toutes les analyses ultérieures devant être rapportées à ces poids pris pour unités.

II. — *Matières minérales : cendres solubles et insolubles.*

Les analyses ont d'abord pour but de connaître le poids des matières minérales. A cet effet, on prend un poids déterminé de matière sèche et on l'incinère dans une petite capsule de platine avec les précautions connues, telles qu'on les trouve dans les traités d'analyse.

On détermine ainsi le poids de la *cendre insoluble* et on obtient par différence le poids de la *cendre soluble,* qui consiste principalement en *carbonate de potasse,* pour les plantes soumises à notre examen.

III.

On détermine ensuite l'azote total par la chaux sodée et l'azote des azotates, en extrayant ceux-ci méthodiquement par lessivages et les transformant en bioxyde d'azote.

IV.

Les composés hydrocarbonés solubles sont déterminés par un traitement spécial. Les composés hydrocarbonés insolubles le sont, en déduisant de la matière insoluble le poids des albuminoïdes, calculé en multipliant par 6 le poids de l'azote fourni par la chaux sodée, après déduction du poids des matières minérales.

V. — *Équation de la plante.*

Les données précédentes étant obtenues, pour chacune des parties de la plante, il suffit de multiplier ces données par le poids relatif de la partie végétale correspondante et de faire la somme des résultats, pour rapporter ceux-ci à la plante entière.

Si l'on veut établir l'équation totale de celle-ci, voici comment on procède.

Le poids total de chaque partie étant donné, on additionne :

1° Le poids des principes albuminoïdes ;

2° Le poids du carbonate de potasse. Celui-ci est regardé comme équivalant à celui de l'azotate initial et des sels organiques à base de potasse, ce qui, en réalité, est une évaluation trop faible pour ces derniers; mais on l'a adopté faute de mieux et comme première approximation. Il existe d'ailleurs à cet égard une certaine compensation, comme il va être dit ;

3° Le poids des cendres insolubles ;

4° Enfin le poids de l'extrait hydro-alcoolique. Ce poids est trop fort, à cause de la présence des sels de potasse solubles; mais, le potassium se trouvant aussi contenu en partie dans la matière insoluble, il n'a pas été possible de séparer les deux ordres de sels qui le renferment, et l'on a admis provisoirement la compensation.

Le poids de l'extrait donne en définitive une certaine notion, au moins comparative, du poids des hydrates de carbone solubles ;

5° La somme de ces diverses matières, retranchée du poids total de la matière végétale, fournit approximativement le poids du ligneux et des *hydrates de carbone insolubles*.

Nous ne nous dissimulons pas les imperfections de ce procédé de calcul; mais il ne paraît pas possible, dans l'état présent de la science, d'en adopter un qui soit tout à fait rigoureux. Tel quel, ce procédé permet des comparaisons essentielles et que l'on ne saurait atteindre autrement.

On obtient ainsi, en définitive, une équation approximative de chaque partie du végétal et finalement une équation du végétal entier, et l'on peut comparer approximativement la répartition des diverses matières dans chaque portion du végétal, aux diverses parties de la végétation.

En effet, la composition immédiate de la plante et celle de ses diverses parties se trouvent rapportées aux composants suivants, dont le mode de détermination vient d'être défini :

Ligneux et composés organiques insolubles ;

Extrait soluble dans l'alcool aqueux, consistant principalement en hydrates de carbone ;

Principes albuminoïdes ;

Sels de potasse, représentés par le carbonate qui en dérive[1] ;

Matières fixes insolubles.

Les matières grasses étaient en proportion trop faible dans les plantes que nous avons étudiées, pour qu'il ait été nécessaire d'en tenir compte. Dans les plantes riches en huile, il y aurait lieu à un dosage spécial.

Indiquons la signification physiologique de ces composants.

Les végétaux se composent, on le sait, de trois groupes fondamentaux de principes :

Les *principes ternaires hydrocarbonés,* formés principalement aux dépens de l'acide carbonique tiré de l'atmosphère et peut-être du sol, et aux dépens des éléments de l'eau, empruntés à la fois au sol et à l'atmosphère;

Les *principes azotés,* tirés surtout du sol et des engrais et, pour une faible partie en général, de l'atmosphère;

Enfin les *matières minérales,* empruntées au sol et aux engrais; et pour une très faible part aux poussières de l'atmosphère.

Or les *principes hydrocarbonés* sont représentés dans nos analyses par deux ordres de corps, savoir :

Les *principes ligneux* et analogues, insolubles, et dès lors fixés dans certains organes;

Et les *matières solubles,* sucres, gommes, etc., qui constituent surtout l'*extrait* hydro-alcoolique. Ces derniers corps, à l'opposé des autres, circulent dans les tissus du végétal et servent d'intermédiaires aux phénomènes de nutrition.

Les *principes azotés* les plus importants sont les *albuminoïdes,* fondements du protoplasme. Dans nos analyses ils ont été séparés sous forme insoluble (emploi de l'alcool aqueux et de la chaleur) et dosés à part. On sait qu'ils jouent un rôle capital dans les phénomènes de reproduction et dans la production des jeunes tissus.

---

1. Certaines plantes renferment réellement des carbonates préexistant à côté de l'azotate.

Enfin les *matières minérales* sont dosées sous deux formes :

Sous la forme de sels solubles, qui circulent dans les tissus, *sels de potasse* principalement, représentés par le *carbonate* (après calcination) ;

Et *substances insolubles*, silice, sels de chaux, de magnésie, etc., localisées dans certains organes.

Le poids réuni des sels de potasse et des sels de chaux et de magnésie est proportionnel à celui des acides organiques, dans les plantes, telles que la Bourrache, qui ne contiennent pas d'acides libres. Les acides organiques étant produits le plus souvent par des phénomènes d'oxydation, ceux-ci sont mesurés, jusqu'à un certain point, dans les cas de ce genre, par le poids des bases contenues dans la plante ; quoique cette évaluation n'offre pas une signification tout à fait rigoureuse.

Ces développements précisent le sens de nos analyses et montrent comment elles peuvent éclairer l'évolution de la vie végétale.

DEUXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Étude sur la marche générale de la végétation dans une plante annuelle.

LES DIVERSES PARTIES DE LA PLANTE

Pour définir le développement d'un principe immédiat déterminé, il convient de préciser d'abord la marche générale de la végétation, à un double point de vue, savoir :

1° La composition relative et l'accroissement des diverses parties de la plante :

Feuilles, tige, racine, inflorescences, etc. ;

2° La formation et l'accumulation des principes immédiats et matériaux essentiels :

Principes ligneux, principes albuminoïdes, hydrates de carbone solubles (extrait), sels de potasse, matières fixes insolubles.

Cette étude doit être accomplie aux différentes époques de la végétation et dans les diverses parties de la plante ; elle doit être contrôlée en répétant les expériences sur diverses espèces, les conclusions n'étant strictement applicables qu'aux groupes mêmes des plantes examinées.

Comparons d'abord les poids relatifs des diverses parties de la plante, ces parties étant pesées à l'état sec. Nous y joindrons le poids total, comme terme de comparaison ; ce poids n'ayant d'ailleurs rien d'absolu et étant susceptible de varier d'un pied à l'autre, entre des limites étendues.

Nous avons opéré sur dix espèces distinctes, dont la plupart appartiennent à la famille des Amarantacées, toutes génératrices du salpêtre, l'un des objets essentiels de nos recherches ultérieures.

I. — *Bourrache* (*Borrago officinalis*).

D'après l'ensemble des données observées, on voit d'abord que, pendant le cours annuel de la végétation, le poids absolu de la plante et celui de ses diverses parties vont en croissant ; conformément à l'observation suivante. Une graine de bourrache pesant 0^{gr},0139 à l'état sec a fourni ainsi une plante pesant jusqu'à 50^{gr},254 ; toujours à l'état sec.

En outre, la tige devient de plus en plus prépondérante par rapport aux feuilles ; le rapport des poids de ces deux portions de la plante au poids total du végétal ayant présenté les valeurs successives que voici :

	FEUILLES.	TIGES.
29 mai.	71,5	25,2
12 juin	38,7	17,2
	53,4	30,8
24 juillet.	19,2	11,1
7 septembre	12,0	50,3
	20,0	43,0

On voit que le rapport de la tige aux feuilles a passé de 1 : 3 à 2 : 1 et même jusqu'à 4 : 1 ; c'est-à-dire que le poids relatif

de la tige augmente sans cesse, tandis que celui des feuilles diminue.

La racine a joué un instant le rôle d'une réserve, où les matières formées par la plante se sont accumulées.

En effet, le 29 mai, elle formait 3,3 centièmes du poids total de la plante.

Le 12 juin	29.7 centièmes.
Le 7 septembre	5.7 —
	8.6 —

Cependant, aux débuts comme à la fin de la végétation, la proportion relative de la racine est faible.

Les inflorescences jouent un rôle à part, leur importance croissant avec celle des fonctions de reproduction, à mesure que la végétation s'avance.

Leur poids, d'abord nul (29 mai), s'élevait, par rapport à la plante sèche :

Le 27 juin, à	14.4 centièmes.
	9.4 —
Le 6 septembre	16.1 —
	28.4 —

Dans cet intervalle, la plante avait développé successivement sa floraison et sa fructification.

Pour analyser plus complètement les phénomènes, nous avons cherché à écarter l'influence des fonctions de reproduction sur la végétation. A cet effet nous avons analysé :

D'abord un pied, à végétation vigoureuse, mais retardée, sur lequel les inflorescences s'étaient à peine développées ;

Puis un pied normal, sur lequel nous les avons écartées dans l'analyse ;

Et enfin un autre pied, sur lequel elles ont été systématiquement retranchées, au fur et à mesure de leur apparition et pendant deux mois et demi, c'est-à-dire pendant toute la durée de la végétation. Tout se réduit alors aux fonctions de nutrition.

Voici ces trois analyses, qui sont fort instructives.

9. 22 juin 1883. Pied vigoureux sans inflorescences sensibles (végétation naturelle retardée) :

	HUMIDE.	SEC.	PROPORTION centésimale. Végétal sec total.	RAPPORT de la matière sèche à la matière humide dans chaque partie.
	Gr.	Gr.		Centièmes.
Feuilles	47,0	7,073	34.3	15.0
Tiges	113,5	8,813	42.7	8.7
Pétioles et grosses nervures	30,0	2,773	13.4	7.7
Racines	17,5	1,428	6.9	8.1
Radicelles	3,0	0,563	2.7	18.9
	213,0	20,650	100.0	9.7

10. 30 juin 1883. Pied dont les inflorescences ont été écartées au moment de l'analyse :

	HUMIDE.	SEC.
	Gr.	Centièmes.
Feuiles	5,398	31.5
Tiges et pétioles	10,070	58.8
Racines	1,656	9.7
	17,124	100.0

11. 7 septembre 1883. Pied dont les inflorescences avaient été détruites systématiquement au fur et à mesure, pendant deux mois et demi de végétation :

	HUMIDE.	SEC.	PROPORTION centésimale. Végétal sec total.	RAPPORT de la matière sèche à la matière humide dans chaque partie.
	Gr.	Gr.		Centièmes.
Feuilles	10,21	8,20	17.4	80.3
Tiges	220,00	34,35	72.8	15.6
Racines	32,18	4,61	9.8	14.3
	262,39	47,16	100.0	18.0

On voit que la prépondérance de la tige s'accentue davantage, et cela d'autant plus que la végétation de la plante poursuit plus loin son cours ; car elle forme, le 22 juin, 42.7 centièmes du poids total.

Au lieu de. . . . . { 12.7 à 30.8 } 12 juin.

Et 72.8 centièmes le 7 septembre,

Au lieu de . . . . 50.3 dans un pied qui a fructifié.

Ainsi la suppression des organes de la reproduction dans la plante profite à la nutrition générale; phénomène qui se produit aussi chez les animaux, et qui est utilisé couramment sur les bêtes destinées à l'alimentation humaine.

A un autre point de vue, on peut remarquer que la plante annuelle privée d'inflorescences tend à se rapprocher de plus en plus par sa composition des arbres et des végétaux permanents.

Tels sont les résultats généraux fournis par l'étude du développement comparatif des diverses parties et organes d'une plante annuelle; ils seront confirmés dans les mémoires suivants par l'analyse et la détermination de la composition immédiate de chacune de ces parties.

Mais, auparavant, il importe de poursuivre l'exposition des résultats observés sur d'autres espèces que la bourrache. En effet, le nombre des végétaux est si grand, et les conditions de leur vie sont tellement variées, que l'on ne saurait espérer les éclaircir d'une manière générale par des études faites sur une espèce unique. La discussion immédiate de celles-ci, envisagées isolément, nous a paru indispensable pour préciser le problème et le rapporter à des données bien définies : c'est à ce titre que nous avons exposé d'abord nos recherches sur la bourrache. Mais, pour parvenir à des notions plus générales, nous avons jugé nécessaire d'étudier simultanément la marche annuelle de la végétation dans neuf autres plantes; toutes choisies d'ailleurs, sauf une, dans le groupe de celles qui produisent le salpêtre en abondance : attendu que nous nous proposions comme objet final l'étude même de la production de ce principe immédiat.

On a donné les tableaux qui résument cette vaste série d'analyses, en en comparant les résultats avec ceux obtenus sur la bourrache.

II. — Amarantus caudatus (queue-de-renard).

La plante devient de plus en plus hydratée au début, les feuilles étant prépondérantes jusqu'au moment de la floraison. Plus tard, la tige et les inflorescences l'emportent, tandis que l'eau diminue par rapport aux principes fixes.

En effet, on remarquera que la plante, prise en masse et dans son plein développement, est moins riche en eau, comme proportion relative, qu'au moment de sa première évolution; car elle contenait :

	EAU.	
Le 20 avril	88.1	centièmes.
Le 29 mai	86.7	—
Le 30 juin	84.6	—
Le 11 septembre	65.6	—

Cette remarque n'est pas spéciale au cas particulier que nous envisageons ici et elle répond au système général de la nutrition de la plante : les principes insolubles se formant et s'accumulant peu à peu dans les divers organes, de façon à en accroître le poids total en diminuant, d'autre part, le poids relatif de l'eau et des principes solubles qui y circulent.

Ce travail de perte d'eau se poursuit pendant la fin de la vie du végétal; mais il affecte alors un caractère tout différent, car il répond à une diminution de vitalité, la floraison étant accomplie, et la plante se desséchant peu à peu sur pied. C'est ce que montre l'analyse suivante, faite le 19 octobre :

	HUMIDE.	SEC.	PROPORTION centésimale. Végétal total sec.	RAPPOTR de la matière sèche à la matière humique dans chaque partie.
	Gr.	Gr.	—	Centièmes.
Feuilles	50,0	43,70	15.2	87.4
Tiges	85,0	53,78	22.1	75.0
Racines	14,5	12,30	4.3	84.8
Inflorescences	200,0	168,12	58.4	84.1
	349,5	287,90	100.0	82.4

A ce moment, la proportion relative des feuilles et de la racine va

sans cesse en diminuant ; celle de la tige a peu varié ; tandis que celle des inflorescences devient au contraire énorme, comme l'apparence des Amarantacées le fait pressentir d'ailleurs à première vue.

III. — Amaruntus nanus (à feuilles rouges).
IV. — Amarantus giganteus.
V. — Amarantus melancolicus ruber.
VI. — Amarantus pyramidalis.
VII. — Amarantus bicolor.
VIII. — Célosie panachée.

Résultats analogues à ceux des deux espèces précédentes.

Luzerne. — La marche de la végétation est, comme on pouvait le prévoir, sensiblement différente dans une plante herbacée telle que la luzerne, que l'on fauche et qui repousse du pied, en fournissant un regain : la racine prend alors, à la fin, une importance spéciale.

Voilà les résultats des analyses effectuées sur les dix espèces annuelles que nous avons étudiées, au point de vue de l'accroissement général et de la répartition de cet accroissement entre les divers organes et parties de la plante.

Les uns de ces organes, tels que les feuilles, et spécialement le limbe, qui comprend les parties vertes, représentent surtout les organes où se produisent d'abord les phénomènes chimiques de la nutrition. Les feuilles, en particulier, sont le siège des actions réductrices, qui se développent d'abord et qui s'exercent à la fois sur l'acide carbonique de l'air, sur l'eau empruntée au sol et à l'atmosphère, sur les azotates et autres sels suroxydés, contenus ou formés dans la tige. Plus tard, c'est encore dans les feuilles que se produit l'accumulation de certaines réserves, ainsi que celle des composés insolubles vers la fin de la végétation.

Les organes de reproduction sont absents au début de la végétation : plus tard, ils deviennent le siège d'un travail chimique fondamental, pendant la floraison et la fructification. Ce travail est complexe. Pendant la floraison, l'oxydation est assez active ; mais plus tard les

hydrates de carbone insolubles, tels que l'amidon et certains principes azotés, s'accumulent dans la graine. Dans des espèces autres que celles que nous avons analysées, il conviendrait d'étudier aussi la formation des corps gras et leur accumulation dans la graine.

Quant aux racines, non seulement elles interviennent pour absorber l'eau et les sels solubles du sol ; mais elles remplissent aussi un rôle chimique et physiologique analogue à celui de la tige, dont elles sont la continuation. En outre, elles jouent à un certain moment le rôle de magasins, où s'accumulent les réserves.

Les tiges, auxquelles nous avons adjoint d'ordinaire, dans nos analyses, les pétioles et grosses nervures ; les tiges, disons-nous, sont le siège principal de la circulation des humeurs, pendant la vie du végétal. Elles sont en outre, comme nous le montrerons, et surtout pendant les périodes de grande vitalité, le siège de phénomènes d'oxydation très actifs. Enfin, plus tard, et à mesure que la végétation annuelle approche de son terme, les tissus ligneux se forment dans la tige et s'y accumulent.

TROISIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Étude sur la marche générale de la végétation dans une plante annuelle.

PRINCIPES IMMÉDIATS ET FONDAMENTAUX DANS LA PLANTE TOTALE

Examinons maintenant la formation et l'accumulation des principes immédiats et matériaux fondamentaux de la plante, à savoir :

Les principes ligneux et hydrates de carbone insolubles ;

Les hydrates de carbone solubles et matières extractives ;

Les principes albuminoïdes ;

Les sels solubles, définis par la proportion du carbonate de potasse des cendres ;

Enfin les matières fixes susceptibles de devenir insolubles par incinération.

Nous avons appliqué ces procédés à l'étude de la composition immédiate des végétaux annuels et de la répartition de leurs matériaux fondamentaux, dans les diverses parties de la plante et aux diverses époques de la végétation : depuis la germination jusqu'à la floraison, la fructification et jusqu'à la marcescence finale, qui détermine la mort du végétal annuel. Nous avons fait ces études sur les dix espèces annuelles déjà signalées, afin de donner aux comparaisons une signification plus étendue et plus précise.

Nous allons exposer les résultats de nos observations, en nous bornant à la plante sèche, c'est-à-dire en faisant abstraction de l'eau. La proportion de l'eau dans la plante totale et dans chacune de ses parties joue cependant un rôle essentiel ; mais elle a été définie dans le mémoire précédent, auquel il suffira de se reporter.

Chaque étude a été divisée en deux parties, comprenant :

1° La proportion des divers principes dans la plante totale, aux diverses époques de la végétation : c'est l'objet du présent mémoire ;

2° La répartition de chacun de ces principes entre les diverses parties de la plante, aux mêmes époques : ce sera l'objet du mémoire suivant.

Nous commencerons par la Bourrache (*Borrago officinalis*).

I. — Bourrache (Borraginées).

Exposons les résultats généraux que l'on peut tirer de l'analyse détaillée de cette plante, faite aux différentes périodes de la végétation.

Commençons par les principes hydrocarbonés, qui définissent spécialement la fraction du carbone.

Ligneux et hydrates de carbone insolubles. — Les chiffres observés montrent d'abord que les poids absolus du ligneux et des hydrates analogues dans la bourrache croissent, depuis l'origine de la plante jusqu'au terme de sa végétation, et cela dans une proportion énorme et supérieure à tous les autres principes : ce qui est conforme d'ailleurs aux faits connus.

Le poids absolu des hydrates insolubles est stationnaire au début et pendant la germination :

Dans la graine (amidon compris)	0^{gr},0093
Dans la plantule [1] (26 avril)	0 ,0073

Ce poids s'élève ensuite dans la plante :

26 avril	0^{gr},007
29 mai	0 ,592
12 juin	0 ,989
7 septembre	29 ,72
Idem (autre)	20 ,30

La proportion relative du ligneux croît également, depuis la plantule jusqu'à la plante en fructification.

26 avril.	43.6	centièmes.
29 mai	41.7	—
12 juin	46.4	—
7 septembre	59.1	—
Idem (autre).	56.9	—

Dans la graine, le chiffre des hydrates de carbone insolubles est maximum, parce qu'il comprend la réserve d'amidon destinée à la première alimentation du végétal, avant que ce dernier ait acquis la vigueur nécessaire pour assimiler le carbone extérieur.

Examinons maintenant à part le rôle des inflorescences.

La proportion du ligneux est la plus grande dans une plante privée systématiquement d'inflorescences, pendant un certain temps.

En effet, le 22 juin, dans une plante vigoureuse sans inflorescence, le ligneux était à peu près le même que dans la plante commençant à fleurir :

43,1 au lieu de 46,3.

Mais, le 7 septembre, il s'élevait à 68.4 centièmes dans la plante privée d'inflorescences ; tandis que la plante ayant fructifié en contenait seulement 59.1 centièmes.

Ceci s'explique en remarquant que, dans une plante privée d'in-

1. Il faudrait ajouter le ligneux des enveloppes et autres parties de la graine, demeurées dans le sol.

florescences, tout le travail de la nutrition profite à l'accroissement des tissus; la consommation due aux fonctions de reproduction étant supprimée.

Hydrates de carbone solubles et extrait. — Il convient de rapprocher des principes ligneux les matières extractives solubles dans l'alcool aqueux, lesquelles sont formées pareillement, au moins en majeure partie dans les espèces que nous étudions ici, par des principes hydrocarbonés, sucres et autres. A la vérité, les corps azotés y entrent aussi, mais pour une fraction minime et que nous négligerons, dans ce premier ordre de comparaisons approximatives. La proportion de l'extrait nous montre dès lors, conjointement à celle du ligneux, la marche de la fixation du carbone et des éléments de l'eau dans le végétal.

Les principes de l'extrait jouent un rôle essentiel dans le développement de la plante ; car leur association avec l'eau constitue les sucs, qui circulent dans la masse des tissus et qui sont les intermédiaires des phénomènes de nutrition.

Les tableaux des pages précédentes (*Annales de chimie*, p. 454 à 457) montrent quel est l'accroissement graduel des matériaux solubles dans la plante. Ils ont varié depuis le poids suivant :

Graine	$0^{gr},0004$

jusqu'aux poids que voici :

26 avril	$0^{gr},0034$
29 mai	0 ,244
12 juin	0 ,448
Idem (autre)	0 ,556
7 septembre	8 ,57
Idem (autre)	7 ,35

Ces variations sont aussi étendues, dans leur ordre, que celles des principes ligneux.

Cependant la proportion relative de ces deux genres de matériaux, qui comprennent les deux formes fondamentales des hydrates de carbone solubles et insolubles, ne change pas beaucoup. En effet, dans la plante étudiée, à chacune des époques où l'analyse a été faite, le poids des principes solubles est demeuré voisin du tiers du

poids du ligneux ; sauf vers le début de la floraison, moment où un mouvement de nutrition et de transport plus actif répond à une proportion plus considérable de matériaux solubles. Ceux-ci avaient alors un poids égal à la moitié environ de celui du ligneux.

Dans la plante privée d'inflorescence, au contraire, les principes hydrocarbonés insolubles tendent à prédominer ; par suite, l'extrait, qui varie en sens inverse, tombe au plus bas, presque au cinquième du poids du ligneux (7 septembre).

Après avoir défini la formation et la répartition des principes hydrocarbonés dans la plante, il convient de parler des principes azotés, lesquels contiennent d'ailleurs aussi du carbone et de l'hydrogène.

Principes albuminoïdes. — Les tableaux relatifs à la composition générale de la plante (*Annales de chimie,* p. 454 à 457) montrent que ces principes sont stationnaires au moment de la germination.

Graine.	0^{gr},0024
Plantule (26 avril).	0 ,0024

ce qui est conforme aux observations de M. Boussingault. Puis ils s'accroissent rapidement :

29 mai	0^{gr},308
12 juin.	0 ,309
Idem (autre)	0 ,321
7 septembre.	2 ,80
Idem (autre)	1 ,615

jusqu'à atteindre mille fois leur poids initial.

On remarquera qu'aux débuts de la végétation ils se sont accrus plus vite que les hydrates de carbone solubles. En effet, le rapport entre le poids des hydrates et celui des albumonoïdes a varié d'abord de la manière suivante :

26 avril.	3 : 2
29 mai	4 . 5

La proportion centésimentale de ces deux ordres de principes dans la plante totale étant :

26 avril.	20.0 et 12.4
29 mai	17.2 et 21.7

Ceci répond à une formation initiale plus active et prépondérante du protoplasma, point de départ des formations ultérieures. Mais presque aussitôt les hydrates de carbone ont repris l'avantage et cet avantage s'est accentué, depuis la floraison jusqu'à la fin de la fructification, suivant les rapports suivants :

12 juin	3 : 2
7 septembre	4 : 1

La proportion centésimale de ces deux ordres de principes étant respectivement :

12 juin	21.1 et 14.7
Idem (autre)	23.1 et 13.1
7 septembre	17.1 et 5.6
Idem (autre)	21.6 et 4.9

Ces chiffres sont caractéristiques et propres à donner une idée de la faculté évolutive du végétal, aux diverses périodes de son existence ; faculté qui peut être regardée comme exprimée par la prépondérance croissante ou décroissante du poids du protoplasma, comparé à celui des hydrates de carbone exempts d'azote.

On comprend par là pourquoi le rapport des principes albuminoïdes au poids total du végétal ne varie pas beaucoup (14 à 21 centièmes), jusqu'à l'époque de la floraison ; tandis qu'il diminue ensuite et se réduit à 5 centièmes environ, au moment de la fructification et de la mort du végétal. Ceci tient surtout à la formation prépondérante du ligneux et des hydrates de carbone.

Dans la plante privée d'inflorescences, la même cause détermine un écart plus grand encore : les albuminoïdes se réduisant à la fin aux 3 centièmes du poids du végétal total. Leur poids absolu, $1^{gr},49$, ne s'écarte pas assez de celui qu'ils présentent à la même époque dans le végétal en fructification ($1^{gr},615$ et $2^{gr},80$ le 7 septembre), pour que l'on puisse affirmer qu'ils aient été détruits, étant données surtout les variations individuelles du poids de chaque pied de végétal. Il faudrait la moyenne d'un grand nombre d'analyses pour décider ce point. Néanmoins il nous paraît probable que les principes albuminoïdes, une fois formés, ne se détruisent pas notablement pendant la fructification.

En somme, la proportion relative des albuminoïdes varie en sens inverse de celle du ligneux. Elle décroît aussi, par rapport à celle des principes hydrocarbonés solubles ; celle-ci varie au contraire à peine pendant la végétation de la bourrache.

Il ne nous reste plus qu'à examiner les variations des matières minérales, solubles et insolubles, et leur répartition dans les diverses conditions de l'évolution végétale.

Sels solubles. — Les sels organiques résultent de l'association des acides organiques avec les bases minérales, et spécialement la potasse, bases tirées du sol et des engrais. Ces acides sont en général des produits d'oxydation, corrélatifs de la même fixation d'oxygène qui engendre l'acide carbonique et les azotates.

Pendant l'incinération, les sels de potasse se changent en carbonate, sel soluble principal des cendres de la bourrache. Nous avons regardé le poids de ce sel comme fournissant une mesure approchée de la dose des sels solubles de la plante.

Examinons comment ils varient et où ils se localisent.

D'après les tableaux des pages 454 à 457 (*Ann. de chimie*), les sels de potasse croissent en poids absolu en même temps que la plante, depuis un quart de milligramme (graine) jusqu'à 3 grammes environ.

Leur proportion relative varie peu de la plantule à la plante desséchée ; car elle oscille entre 6 et 10 centièmes dans le végétal. Si on l'examine de plus près, on voit toutefois qu'elle est bien plus faible dans la graine (1.8 centième) que dans le végétal. Dans celui-ci, elle croît successivement pendant la vie :

26 avril.	6.1	centièmes.
29 mai	7.2	—
12 juin.	9.6	—
Idem (autre).	12.4	—

Le maximum se produit aux débuts de la floraison ; le poids relatif des sels solubles diminuant plus tard :

7 septembre	6.4	centièmes.
Idem (autre)	8.2	—

ce qui s'explique par l'accumulation des principes ligneux et insolubles dans la plante.

Le minimum observé (5.1 centièmes) répond à la plante privée méthodiquement d'inflorescences, c'est-à-dire toujours à la prépondérance du ligneux.

Matières minérales insolubles. — Ces matières, constatées après incinération, sont formées principalement de silice, de phosphate de chaux et de carbonate de chaux ; les derniers sels représentent des sels organiques, tant solubles qu'insolubles, détruits par l'incinération.

Le poids absolu de ces matières va croissant dans la plante depuis $0^{gr},00013$ (graine) jusqu'à 3 grammes. Leur proportion relative est voisine, en général, de 10 centièmes à toute époque, sauf un maximum dans la plantule.

Dans la graine et la plantule, lors de la végétation commençante, les corps fixes insolubles surpassent les sels alcalins solubles ; les proportions centésimales de ces deux ordres de principes désignés, pour abréger, par les mots *solubles* et *insolubles,* étant :

	SOLUBLES.		INSOLUBLES.	
Graine	1.8	et	9.5	centièmes.
26 avril	6.1	et	17.6	—
29 mai	7.2	et	12.2	—

Au moment de la floraison, les proportions se renversent :

12 juin	9.6	et	8.4	centièmes.
Idem (autre)	12.1	et	10.9	—

Mais l'accumulation générale des matières insolubles, à la fin de la vie végétale, les renverse de nouveau :

7 septembre	6.4	et	11.8	centièmes.
Idem (autre)	8.2	et	8.4	—

Il en est ainsi dans les plantes qui fructifient, telles que les précédentes, aussi bien que dans le végétal privé systématiquement d'inflorescences, lequel a fourni :

7 septembre	5.1	et	8.9	centièmes.

Tels sont les faits observés pendant la végétation de la bourrache. Les diverses espèces d'amarante ont fourni des résultats analogues dont le détail est donné dans le mémoire, soit, par exemple, l'*Amarantus caudatus.*

La prépondérance relative, aussi bien que la prépondérance absolue, du *ligneux* s'accuse de plus en plus, par suite du progrès de la végétation, pour l'*Amarantus caudatus* comme pour la bourrache.

Les *hydrates de carbone solubles* croissent moins vite; leur rapport au ligneux passant de l'égalité au septième, dans l'évolution de l'*Amarantus caudatus*.

Rappelons que la formation de ces deux ordres de principes répond surtout à la fixation du carbone et des éléments de l'eau, phénomène prépondérant dans l'accroissement en poids du végétal.

Les *principes albuminoïdes* croissent aussi en poids absolu; mais leur proportion relative varie suivant une autre loi. Elle est maximum, pour l'*Amarantus caudatus,* comme pour la bourrache, aux débuts de la floraison (prépondérance du protoplasma); puis elle diminue beaucoup. Les limites de cette oscillation (15 et 6 centièmes) sont moindres pour l'*Amarantus caudatus* que pour la bourrache (21 et 3 centièmes).

Les *sels de potasse* représentent, nous l'avons dit, les acides: tant les acides organiques que l'acide azotique, et par conséquent les phénomènes d'oxydation, générateurs de ces acides. Ces sels s'accroissent continuellement en poids absolu. Leur proportion relative est maximum au même moment que celle des principes solubles et des albuminoïdes, c'est-à-dire aux débuts de la floraison. Il en est ainsi dans l'*Amarantus caudatus,* comme dans la bourrache; les variations étant moins étendues pour cette dernière plante.

Ce triple maximum traduit d'une façon frappante l'accroissement dans l'insensité de vie que la plante présente à ce moment.

Enfin les *matières fixes insolubles* croissent, mais plus lentement. Leur proportion relative est maximum dans la plantule. Finalement elle surpasse celle du carbonate de potasse, dans l'*Amarantus caudatus* aussi bien que dans la bourrache : circonstance qui atteste les emprunts continuels faits au sol par la plante. En effet, les matériaux d'emprunts sont pris nécessairement au sol sous une forme soluble; mais une portion devient insoluble au sein de la plante.

Les tableaux relatifs aux autres espèces confirment ces résultats.

QUATRIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ).

Étude sur la marche générale de la végétation dans une plante annuelle.

RÉPARTITION DES PRINCIPES IMMÉDIATS ET MATÉRIAUX FONDAMENTAUX

Précisons les données contenues dans le mémoire précédent, en examinant la répartition du ligneux, des hydrates de carbone solubles, des principes albuminoïdes, des sels solubles et des matières fixes insolubles, entre les diverses parties de la plante, et à chacune des époques auxquelles les analyses ont eu lieu. Ces analyses ont été exécutées, comme les précédentes, sur dix espèces distinctes.

I. — Bourrache (Borrago officinalis).

1° Ligneux.

Soit d'abord la répartition du ligneux et des hydrates de carbone insolubles congénères entre les diverses parties de la plante.

D'après les résultats observés, à partir de l'époque où il a été possible d'analyser séparément ces parties, l'accroissement absolu du ligneux a lieu continuellement et dans toutes les parties, pendant le cours de la végétation. Il porte principalement sur la tige ; les feuilles viennent ensuite et la racine en dernier lieu.

Il atteint son maximum, pour la tige, dans les plantes privées d'inflorescences ; ce qui confirme la relation inverse signalée plus haut entre l'accroissement des tissus et la fonction de reproduction.

Aussi les poids relatifs du ligneux vont-ils de même en croissant dans toutes les parties simultanément, l'accroissement étant plus marqué dans la tige et dans la racine que dans les feuilles. La tige et la racine (tige souterraine) offrent sous ce rapport une grande analogie.

Tous ces faits montrent la transition entre l'évolution de la plante annuelle et la végétation de l'arbre proprement dite.

2° Hydrates de carbone solubles et extrait.

La proportion de l'extrait traduit, aussi bien que celle du ligneux, la marche de la fixation du carbone et des éléments de l'eau dans le végétal.

Ainsi les principes solubles augmentent sans cesse en quantité absolue pendant le cours de la végétation ; mais cet accroissement a lieu principalement dans la tige et dans les inflorescences. La tige est, en effet, la voie principale de la circulation des liquides pendant la vie du végétal.

La proportion relative de l'extrait est également plus faible dans les feuilles de bourrache que dans les autres régions de la plante, tandis qu'elle est plus forte dans la tige.

Vers la fin de la végétation, la richesse de la racine en matière extractive devient tout à fait voisine de celle de la tige. C'est là un nouveau rapprochement entre les fonctions de la tige et celles de la racine, dite parfois *tige souterraine.* Il est accentué par l'analyse des radicelles, plus pauvres en extrait : ce qui montre bien que celui-ci n'est pas emprunté, pour une portion considérable du moins, au sol environnant.

La proportion relative de l'extrait dans les diverses parties de la plante est la plus grande possible au moment où la floraison commence, c'est-à-dire au moment où les déplacements de matière sont les plus actifs.

Dans la plante privée méthodiquement d'inflorescences, l'extrait tombe au plus bas : circonstance corrélative de l'accumulation des principes ligneux insolubles dans les diverses parties du végétal.

3° Albuminoïdes.

Venons à la répartition des *albuminoïdes :*

Le poids absolu des albuminoïdes croît pendant la vie, mais beaucoup plus lentement que celui des autres principes. Leur répartition est très caractéristique; car les albuminoïdes se trouvent concentrés au début dans la feuille, siège des parties vertes et du travail de réduction qui fixe le carbone et les éléments de l'eau.

Plus tard, ils se portent dans les inflorescences et dans le fruit, où a lieu le travail non moins actif de la reproduction ; tandis que dans les feuilles, où la vie diminue, la proportion relative de la matière azotée tombe au quart de ce qu'elle était d'abord. Leur diminution relative se manifeste d'ailleurs également dans la tige et dans la racine, à cause de l'accroissement des matières hydrocarbonées.

Précisons davantage, en analysant séparément la tige et les pétioles, réunis dans les analyses précédentes. Nous avons trouvé, en effet, dans une plante à inflorescence retardée (22 juin) :

3.7 centièmes de principes albuminoïdes, dans la tige ;

5.4 centièmes dans les pétioles ;

Tandis que le limbe des feuilles contenait 20.5 centièmes de ces mêmes principes.

Les pétioles sont donc intermédiaires à cet égard, quoique bien plus voisins de la tige que du limbe.

Dans les racines et les radicelles de la même plante, la proportion des albuminoïdes était à peu près la même et voisine de 6 centièmes.

Tous ces faits sont dignes d'intérêt.

On peut confirmer ces observations par les analyses faites sur la plante privée méthodiquement d'inflorescences, analyses d'après lesquelles la proportion relative des albuminoïdes y est la plus faible possible. Ce n'est pas qu'elle diffère dans les parties conservées, feuilles, tiges, racines, à la même époque de la végétation. Mais les inflorescences n'existant pas, les albuminoïdes qu'elles auraient dû contenir ont disparu, sans profiter aux autres parties de la plante. Leur relation avec les fonctions de reproduction est rendue plus manifeste par cette contre-épreuve physiologique.

Il ne nous reste plus qu'à étudier les variations des matières minérales, solubles et insolubles, et leur répartition, dans les diverses conditions de l'évolution végétale.

4° Sels de potasse.

Les sels organiques résultent de l'association des bases minérales avec les acides organiques, lesquels sont en général des produits d'oxydation, corrélatifs de la même fixation d'oxygène qui engendre l'acide carbonique et les azotates.

Examinons comment ils varient et où ils se localisent.

Rappelons d'abord que le poids des sels de potasse, tirés du sol et des engrais, croît avec celui de la plante : depuis un quart de milligramme jusqu'à 3 grammes environ. Mais leur proportion relative varie peu de la plantule à la plante desséchée ; car elle oscille entre 6 et 10 centièmes. Le minimum répond à la plante privée d'inflorescences, c'est-à-dire à la prépondérance du ligneux.

Aussi les sels de potasse croissent en poids absolu jusqu'à la fructification. Cet accroissement porte surtout sur la tige, siège principal de la circulation et de la formation du ligneux, et sur les organes de la fructification ; ces organes, aussi bien que la tige, sont d'ailleurs le siège principal des phénomènes d'oxydation dans le végétal.

La proportion relative des sels de potasse a été trouvée maximum dans la tige et la racine, au moment de la floraison. Plus tard, ils tendent à se répartir également entre les diverses régions.

La plante séchée sur pied a seule donné un excès dans les organes de fructification ; mais cet excès doit probablement être attribué aux conditions physiques de la dessiccation opérée sur pied, lesquelles ont amené les sels dans les extrémités de la plante, plutôt qu'à une diversité physiologique proprement dite.

Dans la plante à inflorescence retardée, la répartition des sels de potasse est plus uniforme. On remarquera cependant que la proportion est plus forte dans la tige que dans les pétioles, et dans les racines que dans les radicelles.

Dans la plante privée méthodiquement d'inflorescences, les sels de potasse sont minimum, comme proportion relative, dans toutes les parties pareillement. Ce résultat confirme, par une contre-épreuve, la relation établie plus haut entre les sels solubles et les phénomènes d'oxydation, ceux-ci ayant diminué par suite de la suppression des fonctions de reproduction.

Toutes ces relations sont essentielles, au point de vue général du développement de la plante, comme au point de vue spécial de la formation des azotates, que nous nous proposons d'examiner bientôt.

5° Matières minérales insolubles des cendres.

Rappelons que ces matières dans les cendres sont formées principalement de silice, de phosphate de chaux et de carbonate de chaux (et de magnésie), ces derniers représentant surtout les sels organiques détruits par l'incinération. Le poids absolu de ces matières va croissant dans la plante jusqu'à 3 grammes et 6 grammes. Leur proportion relative oscille entre 8 et 12 centièmes : soit en moyenne 10 centièmes à toute époque.

Ainsi les matières minérales qui donnent naissance aux cendres insolubles s'accumulent dans les feuilles et dans les inflorescences, de préférence à toutes les autres parties ; ce qui s'explique en admettant que les feuilles et les inflorescences sont le *terminus* de la circulation des liquides. La proportion relative de ces matières peut atteindre, vers la fin de la vie de la plante, au delà du cinquième du poids total des feuilles.

Observons toutefois qu'une portion de ces matières était constituée pendant la vie du végétal par des sels calcaires (ou magnésiens) solubles, que la calcination a transformés en carbonates insolubles.

La circulation de ces sels ne présente donc rien d'anormal dans le végétal vivant. Les phosphates de chaux que l'on retrouve dans les cendres peuvent provenir aussi de sels conjugués solubles, analogues aux glycériphosphates. Il reste cependant de la silice et des sels originairement insolubles dans la plante vivante, tels que l'oxalate de chaux, fréquemment observé.

Dès lors une remarque essentielle doit être faite. En effet, pour que les matières minérales insolubles tirées du sol arrivent jusqu'aux feuilles, il est nécessaire qu'elles soient transportées par les liquides, sous forme de dissolution ou d'émulsion. Encore la pénétration des émulsions à travers les membranes des racines est-elle difficile à comprendre : ce qui tend à réduire tous les phénomènes à des dissolutions. Les réactions qui rendent ces substances insolubles et les soustraient à la circulation des liquides doivent s'effectuer surtout dans les feuilles et les inflorescences.

La quantité absolue des matières minérales formant des cendres insolubles est notable dans la tige ; mais leur proportion relative y

est minimum, et elle tombe vers 4 centièmes au moment de la mort du végétal.

Les racines, que leur contact avec le sol semblerait rendre éminemment propres à déterminer à leur surface la fixation des matières insolubles, n'en renferment au contraire que le poids absolu le plus faible, si ce n'est dans la plante privée d'inflorescences.

Au point de vue relatif, la proportion de ces matières dans la racine a été trouvée la plus grande au début, la plus petite au moment de la mort du végétal. L'absorption des substances venues du dehors ayant cessé, les matières susceptibles de devenir insolubles se trouvent alors transportées de préférence aux extrémités.

Amarantacées.

La composition générale des espèces d'amarantes et des plantes congénères que nous avons étudiées a été définie dans le mémoire précédent. Nous allons examiner maintenant la répartition des matières fondamentales, entre les diverses parties de chacune de ces plantes et aux diverses périodes de sa végétation. Les résultats confirment en général ceux qui ont été observés avec la bourrache.

1° Ligneux et principes hydrocarbonés insolubles.

Amarantus caudatus (ligneux).

	VÉGÉTATION commençante. — 3. — 29 mai. Poids	
	absolu. — Gr.	relatif. —
Feuilles	0,108	36.1
Tiges	0,077	31.3
Racines	0,031	47.0
Inflorescences	0,0	0.0
Ligneux dans la plante totale	0,216	35.4
Poids de la plante	0,610	100.0

En résumé, d'après ces analyses, l'accroissement du ligneux et des principes analogues porte sur toutes les parties de la plante, tant d'une manière absolue que relative. Ces principes forment à la

fin les trois quarts du poids de la tige et de la racine dans les amarantes vigoureuses (*caudatus, nanus, pyramidalis, giganteus*), tout en demeurant en moindre proportion dans les feuilles.

Dans les espèces dont la végétation est demeurée languissante, la floraison lente, la fructification incomplète (*melancolicus, bicolor*), la proportion du ligneux surpasse à peine la moitié du poids et demeure à peu près la même dans les diverses parties. Ceci montre nettement la différence entre une plante qui fructifie mal, par suite d'une nutrition imparfaite, et une plante où la fructification a été supprimée par la destruction des inflorescences.

Dans la luzerne, la prépondérance du ligneux pendant la première période de la végétation est bien plus forte que chez les borraginées ou les amarantacées. Il domine surtout dans la tige et les racines.

Mais pour cette plante, à l'état de regain, la production relative du ligneux a été moindre que dans la période initiale de la végétation ; il a baissé dans toutes les parties.

Les principes hydrocarbonés solubles et transportables par la sève (extrait, etc.) tendent à s'accroître continuellement en poids absolu pendant la végétation. Quant à leur proportion relative, elle augmente d'abord, puis diminue ensuite, à cause de la formation du ligneux et des hydrates insolubles. Elle est au maximum au moment de la floraison, surtout dans la tige, pour les plantes examinées.

A la fin, elle était devenue la plus forte dans les feuilles des amarantes vigoureuses (*caudatus, nanus, giganteus, pyramidalis*). La tige ne conservait son avantage à cet égard que dans les plantes affaiblies (*melancolicus, bicolor*).

Les principes albuminoïdes sont concentrés dans les feuilles des végétaux au début ; dans les feuilles et les inflorescences, à la fin. Au moment de la floraison, ils tendent vers une répartition plus uniforme, à cause des transports de matière azotée produits pendant cette période physiologique. Dans les plantes où la fructification s'est mal faite (*A. melancolicus, A. bicolor*), la répartition finale des principes albuminoïdes offre de moindres divergences, parce qu'ils n'ont pas été utilisés au même degré par la fonction de reproduction.

Enfin, leur proportion relative tombe à la fin vers la moitié à peu

près de ce qu'elle était au début, et même beaucoup plus bas dans les tiges et les racines.

La présence et la proportion des sels de potasse sont corrélatives des phénomènes d'oxydation ; ces sels, au début, sont surtout concentrés dans la tige et les feuilles. Vers la fin, ils tendent à se répartir uniformément dans les *Amarantus caudatus*, *Amarantus giganteus* et dans la célosie. Les racines ont offert en général la plus faible proportion relative, principalement à la fin de la végétation.

Les matières minérales susceptibles de devenir insolubles par l'incinération ont une tendance marquée à s'accumuler dans les feuilles ; si ce n'est dans les plantes à végétation languissante, telles que l'*Amarantus melancolicus* et l'*Amarantus bicolor,* plantes où elles semblent s'arrêter dans les racines : probablement par suite de l'action insuffisante des agents qui les rendent solubles et qui leur permettent ainsi de circuler dans le végétal jusqu'à la feuille. Plusieurs périodes successives dans la vie végétale sont marquées à cet égard, d'après les développements qui précèdent.

TROISIÈME SÉRIE

SUR L'EXISTENCE ET SUR LA FORMATION DES AZOTATES DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL [1] (RÉSUMÉ)

Par MM. **BERTHELOT** et **ANDRÉ**

L'azote est un élément essentiel de tous les êtres vivants ; il n'est pas moins nécessaire aux végétaux qu'aux animaux, quoique sa proportion y soit moins considérable. C'est même des végétaux que les animaux tirent en définitive, par voie directe ou médiate, l'azote nécessaire à leur constitution. Mais l'origine première de l'azote, qui

1. *Annales de chimie,* 6e série, t. VIII.

concourt à former les principes immédiats des végétaux, n'est pas encore complètement éclaircie, non plus que le cycle des transformations que cet élément subit à partir des matières azotées du sol ou de l'atmosphère. Nous avons entrepris de soumettre ces questions à un nouvel examen, à l'aide des ressources de la station de chimie végétale de Meudon, récemment instituée. Depuis trois ans, nous nous sommes attachés spécialement à l'examen des azotates présents dans les tissus de certaines plantes, ainsi qu'à l'étude de leur origine et de leur rôle en physiologie végétale. Plusieurs espèces de plantes ont été suivies et analysées dans toutes leurs parties, depuis l'ensemencement jusqu'à la reproduction des graines, pendant toutes les phases de leur végétation.

Ces expériences, appuyées sur des milliers d'analyses, tendent à établir l'existence d'une nouvelle fonction végétale, donnant lieu à la formation des azotates au sein de certains tissus végétaux et durant une période déterminée de la végétation. Elle résulte de l'action de certaines cellules, agissant sans doute à la façon du ferment nitrique de MM. Müntz et Schlœsing; de même que, dans les expériences de M. Lechartier, les cellules des fruits jouent le même rôle que la levûre de bière pour développer la fermentation alcoolique. Cette fonction est corrélative avec les phénomènes d'oxydation et de réduction qui s'opère dans les tissus et avec les conditions successives de la vie des plantes.

Nous exposerons la suite de ces expériences, dont une longue série est dès à présent terminée. Des problèmes très importants et très controversés se présentent ici à nous, tels que celui de savoir si le salpêtre, ou plutôt l'acide azotique qui le constitue, préexiste dans les engrais, dans le sol arable, dans l'atmosphère; ou bien s'il est formé par le végétal, au moyen des principes azotés du sol ou des engrais.

Depuis longtemps on avait reconnu la présence des azotates dans certaines plantes. Déjà Stahl [1], il y a un siècle et demi, signale l'existence du nitre dans la pariétaire, le tabac et la fumeterre; il en donne comme preuve la propriété de fuser d'elles-mêmes que

1. *Fundamenta Chymiæ,* Pars II, p. 105; Nuremberg, 1747.

présentent ces plantes desséchées, ainsi que la formation des vapeurs rouges par leur fermentation. D'après M. Boussingault, la proportion du nitre dans le tabac serait parfois si grande dans la vallée du Gange qu'il apparaîtrait à la surface de la plante, sous forme d'efflorescences salines. On a observé également le nitre dans la bourrache, qui lui doit ses propriétés diurétiques; dans les Amarantacées, où M. Boutin [1] en a reconnu des doses considérables; dans un certain nombre de plantes examinées par divers observateurs, tels que Vaudin [2], qui l'a trouvé dans les extraits pharmaceutiques; Reichardt [3], qui l'a rencontré en petite quantité dans divers végétaux, et plusieurs autres savants. Rappelons encore la betterave, où le nitre est signalé depuis plus d'un demi-siècle par les fabricants de sucre et où il a été étudié par un grand nombre d'observateurs, parmi les plus récents desquels nous nous plaisons à citer M. Leplay. La présence du salpêtre dans la betterave est si importante que le service des poudres et salpêtres, guidé par les travaux de M. Corenwinder et par ceux de M. Faucher [4], a même cherché, dans ces dernières années, à l'utiliser comme agent producteur de cette substance. Les travaux que nous poursuivons jettent un nouveau jour sur ce problème, qui intéresse si vivement la défense nationale.

Nos travaux touchent à toutes ces questions qui importent au plus haut degré à la physiologie végétale. Nous en partagerons l'exposé en plusieurs mémoires distincts, contenant :

1° Les *Méthodes d'analyse,* destinées à reconnaître et à doser les azotates dans les plantes ;

2° La démonstration de la *présence universelle des azotates dans le règne végétal ;*

3° L'étude des azotates dans les différentes parties d'une plante,

1. *Comptes rendus,* t. LXXXII, p. 1515 ; 1874. — Les dosages même sont sans valeur, à cause du peu de correction du procédé d'analyse, lequel est fondé sur le dosage du carbonate de potasse, réputé résulter en totalité de la destruction de l'azotate ; tandis que c'est un produit général de la combustion de tous les sels organiques à base de potasse.

2. *Journal de chimie médicale,* t. VIII, p. 674; 1832, et t. IX, p. 321; 1833.

3. *Archiv der Pharm.,* 2e série, t. CXXII, p. 193 ; 1865.

4. *Mémorial des poudres et salpêtres,* t. I, p. 262; 1883.

aux diverses époques de la végétation ; étude que nous avons exécutée sur un certain nombre d'espèces caractéristiques ;

4° L'examen des diverses sources d'azotates qui peuvent se rencontrer pendant le développement du végétal ; enfin les *conclusions* de toute la série des recherches qui viennent d'être énumérées.

PREMIER MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Les azotates dans les végétaux.

MÉTHODES D'ANALYSE

On a proposé des procédés très divers pour reconnaître et doser les azotates renfermés dans les végétaux, tels que :

1° Procédés indirects, les plus faciles en apparence, fondés sur la reconnaissance ou le dosage de l'un des trois éléments des azotates : azote, oxygène, métal alcalin et spécialement potassium ;

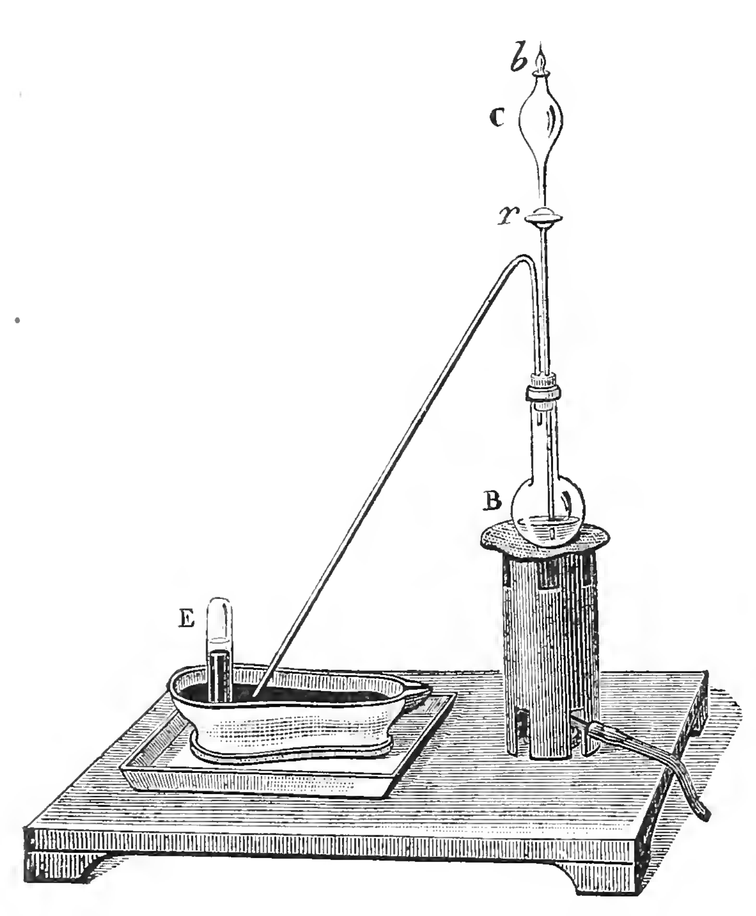


Fig. 7. — Appareil pour doser les nitrates.

2° Procédés directs, plus ou moins longs et pénibles, fondés sur l'extraction de l'azotate et de l'acide azotique en nature ou bien sur sa transformation en un dérivé spécifique, tel que le bioxyde d'azote. C'est à ce dernier procédé que nous nous sommes attachés.

Nous avons opéré conformément au principe de la méthode de M. Schlœsing, mais avec certaines modifications qui nous ont paru lui donner plus de précision et de sécurité.

Le dessin ci-dessus indique notre appareil.

Les détails sont donnés dans le mémoire.

DEUXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Les azotates dans les végétaux.

LEUR PRÉSENCE UNIVERSELLE

Les azotates existent dans le règne végétal, et leur présence, déjà connue de Stahl, et observée en grand par les fabricants de sucre de betteraves dès le début du siècle présent, a été constatée depuis à diverses reprises et dans un certain nombre de plantes : nous avons rappelé plus haut ces observations. Nous avons dû chercher quelle en était la généralité et si les azotates se trouvaient affectés particulièrement à certaines espèces, à certains genres et à certaines familles, comme il arrive souvent aux principes immédiats. Cette étude de la diffusion des azotates dans le règne végétal devait nécessairement précéder celle de leur origine. C'est à cet examen qu'est consacré le présent mémoire.

Nous avons constaté d'abord que les azotates doivent être recherchés de préférence dans la tige des végétaux, siège principal de leur production.

		Azotate de potasse pour 1000 parties. Plante sèche.	Plante humide.
I.			
Hypnum triquetrum (Mousses)	»	0,055	0,050
Equisetum telmateia (Équisétacées)	Tiges.	0,360	0,066
Pteris aquilina (Fougères)	Id.	0,300	0,053
Scirpus lacustris (Cypéracées).	Id.	0,049	0,012
Juncus conglomeratus (Joncées).	Id.	0,180	0,065
II.			
Asparagus officinalis : Asperge (Lil.).	Tiges.	0,300	0,044
Scilla nutans : Jacinthe des bois (Lil.)	Bulbes.	0,077	0,024
Dactylis glomerata (Graminées).	Tiges.	0,110	0,024
Triticum sativum : Blé (Graminées). Avant la floraison	Id.	27,8	4,40
Le même. Huit jours après	Id.	11,20	2,10
Avena sativa. Avoine (Graminées). Avant la floraison	Id.	9,5	1,03
La même. Huit jours après	Id.	17,6	2,80

III.		Azotate de potasse pour 1000 parties. Plante sèche.	Plante humide.
Pinus sylvestris (Conifères)	Jeunes pousses.	0,21	0,094
Prunus domestica : Prunier (Rosacées)	Id.	0,12	0,026
Pyrus communis : Poirier (Rosacées).	Id.	0,15	0,043

IV.

Papaver rhœas : Coquelicot (Papavéracées) . .	Tiges.	31,6	1,60
Chelidonium majus (Papavéracées).	Id.	2,2	0,24
Solanum tuberosum : Pomme de terre (Solanées).	Id.	15,4	1,06
Bryonia dioica : Bryone (Cucurbitacées). . . .	Id.	3,33	2,10
Plantago lanceolata : Plantain (Plantaginées). .	Id.	0,77	0,15
Lychnis dioica (Caryophyllées)	Id.	1,90	0,23
Galium aparine (Rubiacées)	Id.	0,10	0,012
Cherophyllum temulum : Cerfeuil (Ombellifères).	Id.	0,18	0,020
Euphorbia Cyparissii (Euphorbiacées)	Id.	traces	»
Geranium robertianum (Géraniacées)	Id.	7,0	0,78
Senecio vulgaris : Seneçon (Composées). . . .	Id.	0,49	0,071
Tanacetum vulgare : Tanaisie (Composées) . .	Id.	0,75	0,076
Urtica dioica : Ortie (Urticacées).	Id.	12,6	1,8
Lamium album : Ortie blanche (Labiées) . . .	Id.	0,19	0,033
Reseda lutea : Haude (Résédacées).	Id.	5,9	0,74
Brassica alba : Moutarde blanche (Crucifères) .	Id.	2,80	0,48
Rumex acetosa : Oseille (Polygonées).	Id.	0,38	0,042
— — —	Feuilles.	0,15	0,018
Ranunculus acris (Renonculacées).	Tiges.	traces	»
Trifolium pratense : Trèfle (Légumineuses) . .	Id.	traces	»

Vitis vinifera. Vinifères (septembre).

Vrilles. . . . . 2,50[1]

Atriplex nummularia. Chénopodées (juillet[1]).

Feuilles 9,448

Enchylæma tomentosa. Chénopodées[2].

Feuilles 62,57

1. Ce chiffre, de même que ceux qui suivent, s'applique à 1000 parties sèches de la portion de la plante examinée, non de la plante totale.

2. Envoyée desséchée d'Antibes, en juillet, par M. Naudin, membre de l'Institut.

Rosa. Rosacées (septembre).

Tige	0,0125 [1]

Cucurbita pepo. Cucurbitacées (septembre).

Tige	6,666 [1]
Feuilles	0,134 [1]

Portulaca oleracea. Portulacées (septembre).

Racine	19,48 [1]
Tige	124,08 [1]
Feuilles	6,89 [1]

Sedum. Crassulacées (septembre).

Tige	0,909 [1]
Feuilles	1,160 [1]
Racine	0,900 [1]
Inflorescences	0,000

Salvia hispanica. Labiées (septembre).

Racine	3,80 [1]
Tige	18,64 [1]
Feuilles	9,69 [1]
Inflorescences	4,89 [1]

Cannabis sativa. Urticées ; plante mâle (septembre).

	GRAMMES.
Racine	0,037
Tige	0,176
Feuilles	0,028
Inflorescences	0,010
Plante totale : 46gr,5, sèche	0,251

Même espèce. Plante femelle (septembre).

	GRAMMES.
Racine	0,030
Tige	0,083
Feuilles	0,011
Inflorescences	0,003
Plante totale : 42gr,7, sèche	0,127

1. Même observation qu'à la page précédente.

Ainsi, presque tous les végétaux contiennent des azotates, au moins pendant une certaine période de leur végétation : aussi bien les dicotylédones que les monocotylédones et les plantes des autres classes (mousses, fougères, équisétacées, etc.); aussi bien les plantes terrestres que les plantes aquatiques; aussi bien les plantes annuelles que les plantes vivaces et les même arbres (pin, prunier, poirier). On les constate même sur les arbres, à la condition d'opérer sur les poüsses de l'année. La proportion des azotates, mesurée par un procédé d'analyse rigoureux, varie d'ailleurs, depuis des quantités presque nulles jusqu'à 15 millièmes dans la pomme de terre, 28 millièmes dans le blé, et même 150 millièmes dans certains *Amarantus*, à des périodes convenables de la végétation. Nous nous bornons à signaler aujourd'hui ces variations, dont nous présenterons bientôt l'étude approfondie.

TROISIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Les azotates dans les plantes aux diverses périodes de la végétation.

PLANTE TOTALE

La marche générale de la végétation, ainsi que la répartition des principes fondamentaux aux diverses périodes et dans les diverses parties de la plante, ont été définies, spécialement pour les plantes à salpêtre, dans nos mémoires précédents; il convient d'aborder maintenant la production du salpêtre par ces mêmes plantes, et de montrer la corrélation de la nouvelle recherche avec cette première série d'études. C'est ce que nous allons faire, en nous bornant d'abord aux dosages de l'azotate de potasse, sauf à en discuter ultérieurement l'origine.

Nous allons consacrer le mémoire actuel aux résultats observés sur la plante totale, d'après des analyses exécutées sur les mêmes espèces, au nombre de huit, pour lesquelles nous avons défini la

marche générale de la végétation. Puis nous étudierons la répartition du salpêtre, entre les diverses parties de la plante, aux mêmes époques et sur les mêmes espèces, conformément à la marche déjà suivie dans nos recherches sur la marche générale de la végétation.

Borrago officinalis.

D'après les analyses :

1° L'azotate de potasse existe déjà en dose appréciable dans la graine.

Sa proportion, tant relative qu'absolue, croît à mesure que le végétal se développe et cela jusqu'aux débuts de la floraison. Elle est alors maximum.

Mais elle diminue à mesure que la fonction de reproduction se développe ; cette fonction donnant lieu à la formation de principes azotés qui détruisent l'azotate de potasse, dans une proportion plus forte qu'il ne se reproduit au sein du végétal.

Vers la fin de la fructification, cette cause de consommation de l'azote venant à diminuer, l'azotate augmente de nouveau, de façon même à atteindre parfois un poids absolu supérieur à tous les précédents, bien que sa proportion relative demeure moindre en certains cas, à cause de l'accroissement survenu dans les principes ligneux et autres matériaux de la plante.

2° L'azotate de potasse, en même temps qu'il augmente en proportion relative, jusqu'à former plus de 4 centièmes du poids de la plante, s'approprie une dose croissante du potassium et de l'azote total contenus dans celle-ci. Cependant il n'a pas pris tout à fait le tiers du potassium, au moment où sa quantité relative était maximum; ce qui montre combien est inexact le procédé de dosage de l'azotate fondé sur la simple détermination du carbonate de potasse renfermé dans les cendres.

3° On voit encore que l'azotate de potasse peut comprendre jusqu'au tiers de l'azote renfermé dans les principes albuminoïdes, principes dont l'oxydation dans la tige concourt à le former. Ce maximum se produit aux débuts de la floraison.

Il est suivi d'un minimum, répondant à la fructification. Puis le

rapport croît de nouveau et se rapproche du huitième de l'azote albuminoïde, à la fin de la vie du végétal.

4° Le rapport entre le poids du salpêtre et celui des principes solubles de l'extrait offre des oscillations analogues et non moins remarquables, le salpêtre formant un trentième de l'extrait aux débuts, pour s'élever au cinquième de l'extrait lors de son maximum. Il baisse jusqu'au millième au moment de la fructification, pour remonter à sa proportion initiale, c'est-à-dire au trentième, vers la fin de la végétation.

Pour préciser davantage ces résultats, ainsi que leur signification physiologique, nous les avons comparés avec ceux qui ont été reconnus : d'une part, sur la plante étiolée et sur la plante desséchée après sa mort naturelle, et, d'autre part, sur des plantes en pleine végétation, mais observées dans des conditions où l'on prenait soin d'éliminer l'influence des inflorescences.

Il résulte des faits obtenus que le jaunissement, la marcescence et la dessiccation finale de la bourrache n'y détruisent pas les azotates. On voit aussi que la proportion de ces sels dans la plante étiolée en juin ne diffère que fort peu de celle de la plante en bon état : ce qui concorde avec le résultat précédent. Tout ceci s'explique, si l'on observe que la formation des azotates est corrélative des phénomènes d'oxydation que la marcescence et la dessiccation ne ralentissent pas, mais tendraient plutôt à activer. En tout cas, elles ne détruisent pas les azotates déjà formés.

Il en serait autrement si la plante, demeurée humide pendant son dépérissement, éprouvait des phénomènes de fermentation et de putréfaction, susceptibles de détruire les azotates.

Au point de vue de l'analyse exacte des phénomènes, on doit faire remarquer que les observations de ce genre doivent être faites sur des feuilles séparées de la tige pendant la vie du végétal. Autrement, et dans le cas où on laisserait la plante se dessécher en masse, ou bien se dessécher avec une vitesse inégale pour ses diverses parties, on pourrait être induit en erreur.

Les analyses, en effet, seraient parfois faussées par suite des actions purement physiques et capillaires qui tendent à accumuler les liquides et, par suite, les azotates dans les feuilles ; ou bien dans

toute autre région susceptible de devenir le dernier siège de l'évaporation, par suite des conditions spéciales de la dessiccation. La proportion des azotates peut alors s'élever dans les feuilles sèches jusqu'à 3.65 centièmes, d'après quelques-unes de nos analyses.

Dans ces conditions anormales, le rapport entre l'eau et l'azotate, au lieu de rester inférieur à un centième, comme dans le tableau ci-dessus, peut même devenir tel, que l'azotate de potasse cristallise et s'effleurisse à la surface des feuilles et de la tige : nous en montrerons plus loin des exemples. Mais ce ne sont pas là des phénomènes ni des conditions physiologiques.

Les azotates une fois formés subsistent donc dans une plante où la vitalité s'éteint.

Au contraire, si l'on exalte les phénomènes de réduction, corrélatifs de la formation des parties vertes, les azotates diminueront et tendront à disparaître.

Ces faits s'expliquent si l'on remarque que la consommation de l'azote, par suite de la formation des albuminoïdes et corps congénères, ne se manifeste pas seulement pendant la floraison et la fructification ; elle a lieu aussi lorsque le développement des parties vertes devient prépondérant, comme il arrive dans les pieds demeurés longtemps sans inflorescences (22 juin) ; ou mieux encore, dans les pieds privés systématiquement d'inflorescences (7 septembre), de façon à éliminer l'influence de la fonction de reproduction. Dans ce cas, la plante est touffue et vigoureuse : mais les azotates disparaissent presque complètement.

Ce résultat est d'autant plus net que les choses se passent tout autrement dans la végétation normale, comme le montre l'expérience n° 10, dans laquelle on s'est borné à écarter les inflorescences du résultat des analyses. Cette expérience, relative à une végétation normale, met en pleine évidence le rôle exercé par le développement excessif des parties vertes relativement aux azotates.

On voit par ces détails que si la culture de la bourrache était dirigée en vue de la production du salpêtre, il y aurait avantage à multiplier les pieds semés et à en arrêter le développement vers les débuts de la floraison. C'est ce que confirme aussi l'étude des amarantacées, comme il sera dit tout à l'heure.

Ajoutons enfin que la production des azotates exige que la plante ait une certaine vigueur. Par exemple, on n'en rencontre pas dans le blé semé dans l'eau distillée et développé au milieu d'une assiette : il forme cependant des tiges vertes dans ces conditions; mais la végétation ne poursuit pas son cours jusqu'au bout, et elle n'arrive pas à la floraison.

Les azotates peuvent donc disparaître dans une plante sous deux influences contraires : ils peuvent disparaître d'abord par suite d'un excès de vitalité, l'azote étant consommé dans la formation des albuminoïdes, en raison de la fructification, ou en raison d'un développement excessif des parties vertes. Ils peuvent encore disparaître dans une plante malade ou morte, surchargée d'eau et éprouvant des phénomènes locaux ou généraux de putréfaction.

Poussons plus loin cette discussion des phénomènes. Les analyses faites sur les pieds de bourrache étiolés, ainsi que sur ceux dont l'inflorescence tarde à se manifester (22 juin), montrent que, lorsque la plante souffre, les principes albuminoïdes tendent à disparaître, ou plutôt cessent de se produire, avant que les azotates aient eux-mêmes disparu.

En d'autres termes, les fonctions de réduction qui président à la formation des parties vertes, formation corrélative de celle des albuminoïdes, diminuent avant les fonctions d'oxydation, qui président à la formation des acides organiques, de l'acide carbonique et des azotates.

Cela s'explique, si l'on remarque que la formation des parties vertes exige un travail propre et une absorption de chaleur, dus à l'intervention des énergies étrangères à la plante (énergies lumineuses). Ce travail est développé par l'intervention des mécanismes spéciaux et très délicats qui président à la fonction chlorophyllienne. Au contraire, les phénomènes d'oxydation sont produits avec dégagement de chaleur et par le seul concours des énergies chimiques immanentes dans le système qui est constitué par la plante elle-même, jointes à l'oxygène de l'air. Ces phénomènes peuvent donc continuer à se manifester, même dans une plante où les actions réductrices sont suspendues, ou tout au moins diminuées.

Les déductions et conséquences tirées de l'étude de la bourrache

sont confirmées par celle des amarantes, ainsi que nous l'avons établi par une étude détaillée de la végétation de ces plantes, génératrices essentielles du salpêtre.

Amarantus caudatus.

1° Le poids absolu de l'azotate croît jusqu'à la floraison, puis il redescend jusqu'à un minimum, par suite de l'évolution génératrice; ensuite il augmente de nouveau, et vers la fin son poids absolu s'élève au maximum.

Cependant, cet accroissement du poids de l'azotate à la fin (3.1) répond surtout à l'accroissement général de la plante; car la proportion centésimale de ce sel demeure inférieure à celle qu'il avait atteinte d'abord (5.7). Ce sont les mêmes résultats que pour la bourrache.

2° Aux débuts, dans la plantule, les deux tiers du potassium existent sous forme d'azotate, tiré du sol ou produit par la plante. Cet azotate est probablement alors emprunté au sol, dont il forme le sel soluble le plus diffusible.

Mais la répartition du potassium se modifie ensuite dans la plante, et la dose relative de ce métal contenue dans l'azotate diminue malgré l'accroissement de l'azotate. Elle diminue à la fois comme poids absolu, et comme poids relatif : ce qui s'accorde avec cette circonstance qu'une grande partie du nouvel azotate n'est pas tiré en nature du sol. Autrement, il devrait, dans tous les cas, demeurer proportionnel, ou à peu près, au poids du potassium absorbé par la plante.

La dose relative du potassium de l'azotate, comparée au potassium total, diminue, en même temps que l'azotate lui-même, pendant la floraison, pour remonter à la fin, toujours en même temps que la proportion de ce sel. Mais même alors elle ne forme pas au delà du douzième du potassium total, tandis qu'elle en constituait près des deux tiers aux débuts.

3° Le rapport entre l'azote contenu dans l'azotate et l'azote albuminoïde est maximum dans la plantule. Il baisse graduellement pendant le développement de la fleur, par suite de la formation du

protoplasma; puis il remonte jusqu'au neuvième environ, à la fin de la vie du végétal. Ce sont là les mêmes phénomènes généraux que dans la bourrache.

4° Quant au rapport absolu du poids du salpêtre à celui des principes solubles, il varie dans l'*Amarantus caudatus* à peu près comme dans la bourrache; à cela près que le jus de l'amarante est plus riche en azotate. En effet, le salpêtre forme le cinquième de l'extrait au début; il s'élève même jusqu'au quart aux débuts de la floraison. Il tombe alors à 2 centièmes, par suite de la formation prépondérante des albuminoïdes aux dépens de l'azote; pour remonter à 7.7 centièmes vers la fin de la végétation.

La signification de ces analyses est la même en définitive que pour la bourrache.

QUATRIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Les azotates dans les différentes parties des plantes.

Comment le salpêtre se distribue-t-il dans la plante aux diverses périodes de la végétation et quelle est sa relation avec la proportion totale des éléments fondamentaux, qui entrent dans sa constitution, tels que le potassium et l'azote; nous voulons dire la proportion de cet élément contenue simultanément dans les feuilles, la tige, la racine et les fleurs? C'est ce que nous avons examiné pour la bourrache (*Borrago officinalis*) et les neuf autres espèces que nous avons étudiées méthodiquement, à partir de l'époque où les diverses parties ont pu être séparées.

I. — *Bourrache* (*Borrago officinalis*).

Aux débuts de la végétation:

Les azotates sont surtout concentrés dans la tige, siège principal de leur formation, laquelle en renferme le maximum, relatif aussi bien qu'absolu, tandis que la racine en contient moins: ce qui montre bien que les azotates contenus dans la bourrache ne viennent pas du sol, du moins en totalité.

La concentration des jus aqueux est différente aussi dans la tige et dans la racine ; ce qui confirme l'opinion précédente. En effet, si les azotates étaient tirés entièrement du sol, en même temps que l'eau, la richesse des jus en azotates devrait être sensiblement la même dans la racine et dans la tige, les communications de l'une à l'autre étant immédiates et l'évaporation n'ayant pas eu le temps de se produire d'une manière sensible dans cette dernière.

Dans la feuille, au contraire, les azotates tendent à disparaître, étant transformés en principes protéiques, par suite des actions réductrices qui s'y exercent : cette diminution des azotates dans la feuille a été remarquée, en effet, par tous ceux qui ont observé l'existence de ces sels dans les végétaux.

Observons encore que dans la bourrache, aux débuts de la végétation, l'azote des azotates forme environ la moitié de l'azote protéique dans la tige et la racine; tandis qu'il n'en atteint pas les 2 centièmes dans la feuille : ce qui est conforme à l'induction précédente.

L'azotate contient à ce moment les deux tiers du potassium total, dans la racine ; moitié, dans la tige ; 6 centièmes seulement, dans les feuilles. Cependant celles-ci renferment une dose absolue de potassium maximum, la dose relative de cet élément s'y trouvant égale à la moitié de ce qu'elle est dans la tige.

De même, l'azotate de potasse forme le quart des matériaux solubles dans la tige et les racines, tandis que dans les feuilles il n'en forme que 4 centièmes.

Aux débuts de la floraison, les azotates prédominent encore dans la racine et dans la tige, d'une façon absolue et surtout d'une façon relative. La tige en renferme le plus ; ce qui montre bien qu'ils ne viennent pas de la racine, du moins en totalité.

Le travail de la floraison est, à ce moment, tellement actif que les fleurs ne contiennent pas traces d'azotates, tout l'azote du salpêtre étant changé en principes protéiques à mesure qu'il arrive dans ces organes. De même, les feuilles renferment moins de 1 centième d'azotate, tandis qu'elles contiennent seize fois plus d'azote sous forme de principes albuminoïdes.

Le poids des principes protéiques contenus dans chaque partie du

végétal envisagée séparément s'élève à ce moment à 19 centièmes du poids sec des fleurs, et à 23 centièmes de celui des feuilles. Tandis que, dans la tige et la racine, ils constituent seulement 6.6 centièmes du poids sec ; 5.9 dans les radicelles.

Insistons sur ce dernier point.

L'analyse des radicelles a pu être faite séparément, à ce degré de la végétation. Elle jette un jour nouveau sur la formation des azotates. En effet, les radicelles, qui sont l'organe de l'absorption immédiate des liquides contenus dans le sol, renferment seulement 2.2 centièmes d'azotates, tandis que les azotates croissent à mesure que les sucs s'élèvent au sein de la plante, par suite de la marche de la sève. Dans le corps de la racine d'abord, qui est une véritable tige souterraine et participe à certains égards des mêmes fonctions, les azotates forment 7.9 du poids ; puis, dans la tige, ils s'élèvent jusqu'à la proportion de 10.1 centièmes.

La proportion entre l'azotate et l'eau est à peu près la même dans ces trois régions.

Au contraire, la dose de l'extrait, double dans la racine de ce qu'elle est dans les radicelles, atteste les travaux chimiques spéciaux qui s'y accomplissent. Le rapport du poids de l'azotate à celui de l'extrait est double également dans la racine de ce qu'il est dans les radicelles, tandis qu'il devrait être moindre, si l'azotate était tiré du sol. Dans cette hypothèse, sa proportion demeurerait la même ; or celle des principes solubles et extractifs va sans cesse en augmentant : le rapport entre ces deux quantités devait donc s'abaisser, tandis qu'au contraire il s'élève au profit de l'azotate : ceci est caractéristique.

Toutefois, cette relation implique que les azotates se forment plus vite que les principes solubles : ce qui a lieu dans la racine, portion souterraine de la tige ; mais ce qui cesse d'avoir lieu dans la portion aérienne de cette même tige, ou tige proprement dite. En effet, les analyses montrent que, contrairement à ce qui arrive dans la racine, le rapport des azotates à l'extrait diminue dans la tige. Cette diminution s'accentue davantage encore dans les feuilles, par suite de la formation incessante des matières solubles.

Insistons sur ce fait, bien connu, que les fonctions de la racine et

de la tige ne sont pas radicalement distinctes, au point de vue de la physiologie végétale. Or, nous voyons de même que les causes susceptibles de former les azotates dans la tige aérienne agissent aussi dans la racine. Les analyses des radicelles sont très précieuses à ce point de vue, comme propres à établir entre le sol et la plante une transition que les premières séries d'analyses ne nous permettaient pas de préciser au même degré. On vient de montrer quelles conséquences il est permis d'en tirer.

L'obscurité dans laquelle se trouve la racine n'est pas un obstacle à cet égard ; car elle est favorable à l'action des ferments nitriques, tels que celui de MM. Schlœsing et Müntz. La lumière, au contraire, accélère le développement des parties vertes et, par suite, la transformation des azotates en principes albuminoïdes. En fait, ces derniers renferment à peu près autant d'azote que les azotates dans la racine ; ils en contiennent huit fois autant dans les tiges, trente fois autant dans les feuilles : ce qui montre combien leur développement est actif dans cette période de la végétation, c'est-à-dire aux débuts de la floraison.

A l'époque de la fructification, les feuilles et les inflorescences n'en accusaient plus que des traces ; la racine point du tout. Ceci montre bien qu'à cette époque de sa vie la plante ne saurait emprunter les azotates au sol, tandis que les actions qui les produisent dans la tige continuent à agir.

En somme, la formation des principes azotés destinés à la reproduction avait fait disparaître, lors de la fructification, la presque totalité des azotates. Ajoutons que ceux-ci ne contenaient plus alors sur 100 que 0.27 du potassium total s'élevant à 10000 parties. Leur azote répondait à 0.4 de l'azote protéique (s'élevant à 10000 parties). Enfin le poids des azotates était seulement 0.13 sur 10000 parties de l'extrait.

CINQUIÈME MÉMOIRE

Sur la formation du salpêtre dans les végétaux.

L'azotate de potasse existe dans les plantes, et sa présence est universelle dans le règne végétal. Nous avons établi ce résultat par de nombreuses expériences : nous avons déterminé le salpêtre au sein des plantes qui en renferment le plus, telles que la bourrache et les Amarantacées ; nous l'avons suivi dans les diverses parties de ces plantes et nous avons observé qu'il est surtout concentré dans la tige, tant comme proportion relative que comme poids absolu ; puis vient la racine. Les radicelles, les fleurs, les feuilles surtout, sont les organes qui en renferment le moins : ces dernières parce que les actions chimiques réductrices développées par les parties vertes tendent à y détruire les azotates. En dosant le salpêtre pendant les différentes périodes de la végétation, nous avons reconnu qu'il se manifeste de plus en plus abondamment, à partir de la germination jusqu'à l'époque qui précède la floraison, laquelle répond à son maximum relatif. Il diminue ensuite, au moins quant à sa proportion centésimale, c'est-à-dire lorsqu'on détermine le poids de salpêtre contenu dans un poids donné de la plante sèche, 1 kilogr. par exemple : il diminue pendant que le végétal produit ses fleurs et ses fruits, pour reparaître plus abondant lorsque la fonction de reproduction commence à épuiser ses effets. Mais alors la marcescence et la mort du végétal ne tardent pas à arrêter le développement du salpêtre. Il ne remonte pas d'ailleurs jusqu'à la proportion relative qu'il avait atteinte d'abord ; mais son poids absolu est souvent beaucoup plus considérable à la fin, à cause de l'accroissement général du poids du végétal.

Cet affaiblissement de la quantité du salpêtre pendant la période de reproduction est dû à ce que l'azote qu'il renfermait d'abord est employé à former les principes protéiques de la fleur et de la graine, concurremment avec l'azote emprunté aux matières nitrogénées du sol et à l'ammoniaque atmosphérique. La formation même de l'azotate dans la plante n'est pas nécessairement suspendue par là ; mais

le sel qu'elle produit est consommé à mesure, en proportion plus grande qu'il ne peut être régénéré.

Non seulement la reproduction de la plante diminue la proportion des azotates ; mais une nutrition trop active et dirigée de façon à exagérer la formation des parties vertes donne lieu aux mêmes effets. Ceci s'explique par ce que la formation des feuilles et autres parties vertes est corrélative des phénomènes de réduction qui amènent l'azote des azotates à faire partie des principes protéiques. C'est ce que montrent spécialement nos expériences sur les plantes privées systématiquement d'inflorescences, plantes au sein desquelles les azotates disparaissent d'une façon presque complète.

On voit par là quelle corrélation le salpêtre présente avec les fonctions fondamentales : nutrition et développement des organes, et reproduction de la plante. Il en résulte une corrélation analogue entre la présence du salpêtre et les grands phénomènes chimiques caractéristiques de la vie végétale. En effet, les azotates augmentent avec les oxydations exothermiques qui se développent dans la tige, lieu où s'opère en grande partie l'absorption de l'oxygène de l'air, tandis qu'ils diminuent avec les réductions endothermiques accomplies dans les feuilles, sous l'influence de la fonction chlorophyllienne.

Cet antagonisme entre les actions chimiques effectuées sous l'influence de la lumière, et la formation même des azotates est conforme à ce que l'on sait de la génération du salpêtre dans le sol et du mode de fonctionnement des ferments nitriques de MM. Müntz et Schlœsing.

Il ne nous reste plus qu'à examiner l'origine véritable du salpêtre dans les végétaux, c'est-à-dire à rechercher si l'azotate de potasse provient directement des engrais fournis au sol, ou bien du sol lui-même, en tant que générateur de salpêtre ; ou bien encore de l'acide azotique apporté par l'atmosphère ; ou enfin si le salpêtre est formé dans la plante elle-même. Ces questions sont difficiles à résoudre pour les plantes qui renferment seulement quelques millièmes de salpêtre, comme il arrive le plus souvent ; mais on peut les aborder à l'aide des analyses exécutées sur les plantes riches en salpêtre.

Définissons d'abord la proportion totale d'azotate fournie par la

culture d'un végétal, sur une étendue donnée de terre. D'après nos dosages, exécutés chacun sur des surfaces de 25 mètres carrés,

	SALPÊTRE.
	Kilogr.
La bourrache semée sur un hectare de terrain a fourni	120
L'*Amarantus bicolor*.	128
L'*Amarantus caudatus*.	140
L'*Amarantus pyramidalis* (160 pieds par are)	163
L'*Amarantus giganteus* (160 pieds par are)	320

Ces proportions de salpêtre ont été établies par les dosages du bioxyde d'azote, procédé qui ne laisse aucun doute sur la nature réelle du principe dosé. L'évaporation directe des extraits aqueux, d'abord à feu nu, puis spontanément, sans précautions spéciales, permet d'en faire cristalliser au bout de quelques mois près de la moitié. Le surplus exigerait, pour être isolé, l'emploi des méthodes de dialyse.

Ceci étant reconnu, cherchons l'origine des éléments du salpêtre.

1° Le potassium contenu dans le salpêtre des plantes vient nécessairement du sol. L'analyse le confirme d'ailleurs, car :

1 kilogr. de la terre prise avant la végétation renfermait, $6^{gr},4$ de ce métal ;

Après la végétation et au voisinage immédiat de la plante, $4^{gr},7$.

2° L'azote du salpêtre vient aussi du sol, en totalité ou en majeure partie ; car 1 kilogr. de la terre mise en expérience renfermait :

Avant, $2^{gr},75$ d'azote,

Et après, $1^{gr},73$.

La terre avait donc cédé de l'azote à la plante.

L'atmosphère peut d'ailleurs apporter aussi quelque dose d'azote sous forme d'ammoniaque, d'acide azotique, peut-être même d'azote libre, question que nous réservons pour le moment.

L'azote est susceptible d'être emprunté au sol et à l'atmosphère sous plusieurs formes : sous forme d'azotate en nature, sous forme de sels ammoniacaux, sous forme de principes azotés complexes. Nous allons discuter ces trois origines.

1° L'azote peut être introduit en nature par les engrais. Tel est le cas de la culture de la betterave. Mais MM. Corenwinder et Ladu-

reau ont établi que cette plante renfermait parfois une dose d'azotate supérieure à celle de l'azotate de soude employé comme engrais.

Dans nos cultures de bourrache et d'amarante, aucune dose d'azotate n'a été ajoutée aux fumiers que nous avons répandus sur la terre, et celle des azotates y était négligeable. Nous écarterons donc cette première origine, du moins dans nos expériences.

2° L'azotate peut être tiré dans le sol, opinion soutenue par beaucoup d'auteurs, sans autre fondement que cette induction, qui consiste à adopter l'opinion qui semble la plus simple et la plus apparente. L'azotate de potasse se trouve en effet dans tous les sols arables.

D'après nos analyses, un hectare du terrain de nos expériences pris jusqu'à la profondeur de 0m,325, profondeur à laquelle s'enfoncent les racines, renfermait 54 kilogr. d'azotate de potasse ; dose qui ne s'élève pas même à la moitié du salpêtre contenu dans la bourrache développée dans ce terrain, et au sixième de celui de l'amarante gigantesque. Le sol n'a donc pas pu fournir ces azotates, du moins par son contenu actuel.

On pourrait objecter que l'azotate des plantes a été emprunté au sol pendant le cours de la végétation même. Mais une expérience directe a prouvé que la dose de l'azotate contenu dans la terre où ont eu lieu ces cultures n'avait pas changé sensiblement pendant leur cours. En effet, d'après l'analyse faite sur 1 kilogr. de terre prise en un même point du sol, jusqu'à la profondeur de 0m,33, un hectare contenait :

Avant culture, 81 kilogr. d'azotate de potasse,

Et après culture, 80 kilogr.

Ces chiffres sont concluants parce qu'ils répondent à une période de sécheresse relative (1884), où le sol n'avait pas été lavé dans sa profondeur : l'eau météorique étant trop peu abondante pour le pénétrer s'était évaporée à mesure à la surface. Dans ces conditions, le salpêtre a dû se former au sein du végétal.

Examinons maintenant l'influence de la pluie.

Les pluies continues appauvrissent le sol en salpêtre, comme on pouvait s'y attendre. En effet, 1 kilogr. de terre renfermait le

4 juin 1885 : $0^{gr},0679$ de salpêtre (soit $0^{gr},0757$ pour la terre séchée à 110 degrés). Or, cette même terre, le 19 octobre 1885, après un mois de pluies fortes et continuelles, ne contenait plus que $0^{gr},0054$ de salpêtre (soit $0^{gr},0063$ pour la terre séchée à 110 degrés) : ceci a été trouvé dans la première couche, de même épaisseur, on a trouvé $0^{gr},0463$ (soit $0^{gr},0054$ pour 1 kilogr. de terre séchée à 110 degrés).

Malgré ces conditions de déperdition du salpêtre du sol par les lavages météoriques dans la seconde période, l'analyse a montré que la dose de ce sel dans les amarantes cultivées au même point était restée à peu près la même : ce n'était évidemment pas le sol, continuellement appauvri par la pluie, qui avait pu la fournir.

Quoi qu'il en soit, dans la première série d'expériences exposée plus haut, expériences où la pluie n'est pas intervenue, la végétation des amarantes n'a pas appauvri le sol, soit que l'azote n'ait pas été emprunté au sol, soit qu'il y ait été régénéré à mesure. Il est incontestable, en effet, que l'azotate de potasse tend à augmenter dans certains sols, par l'effet de la nitrification naturelle.

Nous avons aussi examiné ce point.

A cet effet on a pris 1 kilogr. de la même terre végétale que ci-dessus, enlevée dans une région où l'on n'a fait aucune culture de plante à salpêtre ou autre quelconque, et où l'on a pris soin d'extirper à mesure toute trace de végétation spontanée. Cette terre contenait, le 4 juin 1885, $102^{gr},4$ d'eau et $0^{gr},0679$ de salpêtre. A la fin de la saison sèche, l'eau était réduite à $34^{gr},8$, et le salpêtre porté à $0^{gr},1683$, c'est-à-dire qu'il avait plus que doublé.

Ce salpêtre s'était formé, en majeure partie du moins, sur place et dans la terre elle-même. C'est ce qui résulte d'une expérience spéciale que voici.

En effet, 1 kilogr. de la même terre (supposée dans le calcul séchée à 110 degrés) a été pris le 4 juin et abandonné dans un pot, à la lumière diffuse, dans une chambre du laboratoire. On l'arrosait de temps en temps avec de l'eau distillée. Or, cette terre contenait à la fin de la saison sèche $0^{gr},134$ de salpêtre : accroissement un peu moindre que le précédent, mais du même ordre de grandeur.

Ces chiffres ont été observés sur de la terre en couche mince, ameublie et traversée aisément par l'air et, par conséquent, placée

dans des conditions éminemment favorables à la nitrification spontanée. On ne saurait assurément les appliquer à des couches profondes. Cependant, même en les étendant par une hypothèse excessive au terrain tout entier, on voit qu'un hectare de terrain, renfermant au début de nos expériences 54 kilogr., comme plus haut, de salpêtre, en aurait pu contenir tout au plus 133 kilogr. à la fin ; chiffre évidemment trop fort, d'après ce qui vient d'être dit.

Or nous avons établi que la richesse du sol en salpêtre est en fait demeurée la même. Admettons que la différence, soit 79 kilogr. au maximum, ait passé dans les plantes à salpêtre, cette différence serait loin de représenter les 320 kilogr. trouvés dans l'*Amarantus giganteus*, les 163 kilogr. trouvés dans l'*Amarantus pyramidalis ;* elle ne fournirait même pas les 120 kilogr. de la bourrache. L'excédent a nécessairement été formé dans le végétal lui-même.

Nous verrons d'ailleurs tout à l'heure que la sève des plantes riches en salpêtre, loin de pouvoir emprunter du salpêtre aux liquides du sol beaucoup plus pauvres qu'elle, tendrait plutôt à leur en céder, en vertu des lois physiques de la diffusion des liquides.

Examinons auparavant les apports de l'atmosphère en acide azotique. D'après les analyses de l'Observatoire de Montsouris, exécutées dans un lieu assez voisin du nôtre, l'azote nitrique fourni pendant la saison de 1883, à laquelle se rapportent les expériences précédentes, s'élevait à 610 grammes par hectare : ce qui équivaut à $4^{kg},40$ d'azotate de potasse ; or cette dose surpasse à peine le vingtième de celle contenue dans le sol que nous avons analysé et le trentième de celle que nous avons trouvée dans la bourrache. On voit combien est faible l'influence relative de cet ordre d'apports atmosphériques.

Il résulte de ces faits que l'azotate de potasse contenu dans la bourrache et dans les amarantes ne préexistait ni dans les engrais, ni dans le sol, ni dans l'atmosphère. Nous sommes loin de prétendre qu'aucune portion de ce sel ne soit tirée du sol, empruntée, par exemple, à l'azotate préexistant ou régénéré dans celui-ci par la nitrification ; mais nous avons montré que toutes ces influences réunies n'atteignaient en fait, et dans les conditions mêmes de nos essais, qu'une fraction assez faible de l'azotate de potasse formé dans le végétal.

On doit donc observer à cet égard que l'eau qui imprègne le sol ne contient guère qu'un dix-millième de son poids de salpêtre, d'après les analyses ci-dessus ; tandis que dans nos plantes riches en salpêtre, la proportion de ce sel s'élève à plusieurs millièmes. Elle peut même atteindre jusqu'à un centième et un centième et demi, c'est-à-dire qu'elle est cent cinquante fois aussi considérable dans les liquides de la tige que dans les liquides du sol. Les phénomènes de dialyse, tels qu'ils sont connus, ne sauraient expliquer une telle différence : le passage d'un sel d'une solution aqueuse concentrée se diffusant dans l'eau pure, ayant en général pour effet de former deux liqueurs nouvelles, qui sont *toutes deux d'un titre inférieur à la première*. Tout au plus pourrait-on concevoir un léger renversement entre la richesse des jus, dans des conditions exceptionnelles. Or la richesse de la sève en azotate, dans les plantes riches, surpasse extrêmement celle des liquides du sol dans la tige et même dans la racine, organes où aucune évaporation sensible n'a encore eu lieu. Elle ne saurait dès lors s'expliquer par un emprunt direct fait au sol; mais elle résulte nécessairement d'une formation sur place, accomplie dans le sein du végétal.

Observons encore que la proportion de l'azotate de potasse, tant absolue que relative, va croissant des radicelles à la racine, puis à la tige : ce qui s'accorde avec cette opinion que la tige est le siège principal de sa formation. La racine proprement dite y concourt probablement aussi, en raison de l'analogie de sa structure et de ses fonctions (tige souterraine), quoique en moindre proportion : c'est ce que montrent à la fois et la dose moindre de l'azotate dans la racine, et surtout dans les radicelles, et la concentration plus grande de ce sel dans les liquides de la tige. Sa proportion comparée à celle de l'eau atteint en effet, pendant une certaine période et dans certaines plantes (*Am. caudatus, Am. giganteus, Am. melancolicus, Am. pyramidalis, Célosie panachée*), une dose presque double dans la tige de ce qu'elle est dans la racine, et cela malgré la faiblesse incontestable des changements de concentration que l'évaporation a pu produire dans cet intervalle.

Ainsi nous sommes conduits à admettre que le salpêtre est formé par le végétal, au moins dans les plantes riches; les faits observés

ne semblent pas susceptibles d'une autre interprétation. La présence universelle du salpêtre dans les végétaux résulte probablement de l'exercice plus ou moins actif de la même fonction. Nous pensons qu'elle est due au jus de certaines cellules, agissant dans l'intérieur de la plante, à la façon du ferment nitrique qui produit le salpêtre dans le sol, d'après MM. Schlœsing et Müntz.

Nous avons entrepris quelques expériences à cet égard : 1 kilogr. de terre végétale, épuisée par l'eau froide, de façon à enlever les azotates qu'elle renfermait, a été chauffé à 100°, dans un ballon de 3 litres, au sein d'un grand bain-marie bouillant, de façon à la stériliser.

Un ballon de ce genre a été abandonné pendant six semaines à lui-même, à la lumière diffuse : il a fourni seulement $0^{gr},001$ de salpêtre, dû sans doute à un épuisement incomplet.

Un autre ballon, préparé de même et contenant seulement 300 grammes de terre épuisée et stérilisée le 30 juillet 1885, par le même procédé, a été ouvert un moment après refroidissement ; et l'on y a introduit un fragment pesé de tige d'amarante, contenant $0^{gr},0018$ de salpêtre. Le 17 octobre, on a retrouvé $0^{gr},0085$ de salpêtre.

Il s'était donc formé, sous l'influence de la tige d'amarante, une dose notable de salpêtre : $0^{gr},0067$, dans ce sol stérilisé à l'avance.

Comme terme de comparaison : 300 grammes de la même terre, non épuisée et renfermant $0^{gr},04915$ de salpêtre, le 30 juillet, ont été abandonnés dans un ballon pareil, mais qui n'avait pas été chauffé : il était dans des conditions telles que l'air pouvait circuler aisément. On a retrouvé, le 17 octobre, $0^{gr},0582$ de salpêtre : il s'en était donc formé $0^{gr},009$.

On voit par ces chiffres que le ferment de la tige d'amarante a produit, dans le même temps et les mêmes conditions, à peu près la même dose de salpêtre que le ferment originel de la terre.

Ces expériences doivent être exécutées en laissant un volume d'air considérable, au moins 1 litre d'air pour 100 grammes de terre. Autrement les matières réductrices de la terre absorbent tout l'oxygène libre et elles réduisent même une partie de celui du salpêtre.

Ainsi les cellules de la tige d'amarante peuvent jouer le rôle de ferment nitrique.

Un tel rapprochement existe souvent dans l'histoire des fermentations. Par exemple, la fermentation alcoolique, développée en général sous l'influence de la levure, peut aussi avoir lieu, quoique d'une façon moins régulière, sans son concours, comme l'a prouvé M. Berthelot ; sans doute sous l'influence de certains autres mycodermes. Elle a lieu également ainsi dans les cellules vivantes des fruits, d'après MM. Lechartier et Bellamy. Les expériences inédites et demeurées malheureusement incomplètes de Claude Bernard avaient pour point de départ l'étude de ce même mode d'action.

Ajoutons que la formation des azotates dans les plantes semble résulter de l'exercice spécial d'une fonction plus générale des cellules, la fonction qui donne lieu aux oxydations, c'est-à-dire la fonction même qui produit l'acide carbonique, les carbonates, les acides oxalique, tartrique, malique, citrique et autres acides suroxygénés. Cette étude fait donc partie d'un sujet plus étendu, relatif à la formation des acides végétaux, sujet abordé par l'un de nous, il y a vingt ans, et que nous nous proposons de reprendre et de développer.

QUATRIÈME SÉRIE

FORMATION ET DOSAGE DE L'AMMONIAQUE DANS LA TERRE

Par MM. BERTHELOT et ANDRÉ

PREMIER MÉMOIRE

Sur la formation de l'ammoniaque dans la terre végétale soumise à l'action de divers réactifs et sur son dosage[1].

En poursuivant nos études sur la constitution de la terre végétale, nous nous sommes trouvés conduits incidemment à traiter une question très intéressante en soi, quoique accessoire au point de vue de nos

1. *Annales de chimie*, 6e série, t. XI, p. 289.

recherches personnelles : nous voulons dire le dosage de l'ammoniaque dans la terre végétale. Cette question a été déjà examinée avec beaucoup de soin par Boussingault et par M. Schlœsing. Elle est plus difficile qu'on ne pourrait le croire à première vue : les méthodes ordinaires par lesquelles on dose l'ammoniaque en chimie, en la déplaçant au moyen de la potasse, de la soude, de la chaux, ou de la magnésie, ne pouvant être appliquées ici sans de grandes réserves.

En effet, la terre ne renferme pas seulement de l'ammoniaque libre ou combinée, facile à déplacer par les alcalis : elle n'en renferme même, en général, que des traces excessivement faibles. Mais elle contient aussi des sels ammoniacaux insolubles, tels que le phosphate ammoniaco-magnésien et divers composés ammoniacaux dérivés des acides humiques ; tous sels et composés dont la décomposition directe par les alcalis, par la magnésie spécialement, est lente et progressive, presque interminable à froid, et beaucoup plus difficile à réaliser, même à 100°, que celle des sels ammoniacaux ordinaires et solubles. Ce n'est pas tout : la terre renferme aussi des principes amidés très divers, les uns fort résistants aux alcalis, surtout à froid ; les autres, au contraire, lentement altérables par la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, et même par l'eau pure, altérable, disons-nous, à froid déjà, et plus encore à 100°. De telle sorte qu'il reste souvent incertain si l'ammoniaque obtenue avec le concours de ces réactifs dérive de sels ammoniacaux préexistants et lentement décomposables, ou bien de composés amides facilement altérables. La distinction entre ces derniers amides et les sels ammoniacaux lentement décomposables, en particulier, est toujours incertaine.

Au lieu de recourir aux alcalis pour isoler l'ammoniaque, soit libre, soit préexistante sous forme saline, on a pensé à employer les acides, tels que l'acide chlorhydrique et l'acide azotique. Mais ici se présente une nouvelle difficulté. En effet, la régénération de l'ammoniaque aux dépens des amides ne se produit pas seulement par les alcalis, comme les chimistes l'ont observé de tout temps, et comme l'ont précisé les expériences de Boussingault, celles de M. Schlœsing et les nôtres propres ; mais cette action régénératrice

d'ammoniaque, les acides minéraux, même étendus, la produisent aussi, et nous l'établirons plus loin : leur emploi pour distinguer l'ammoniaque libre ou saline, préexistante de celle qui dérive des amides, donne lieu dès lors à des incertitudes du même ordre que l'emploi des alcalis.

La grande altérabilité de certains principes azotés ou amidés, contenus dans la terre végétale, est un fait d'une haute importance; car elle a pour effet de donner lieu au sein de la terre végétale, par le simple jeu des actions naturelles, à un dégagement continu d'ammoniaque : dégagement très lent et très faible sans doute, mais qui joue assurément un rôle essentiel dans le développement des végétaux.

C'est en cherchant à définir ce rôle et à examiner les conditions théoriques de son exercice que nous avons été conduits à exécuter une longue série de recherches, exposées dans les mémoires suivants, recherches qui touchent en même temps diverses questions générales de mécanique chimique.

Voici la liste de nos travaux :

1. *Déplacement de l'ammoniaque par la magnésie.* — On montre dans ce mémoire que le déplacement de l'ammoniaque dans certains sels par la magnésie est plus lente et plus difficile, surtout à froid, et même à 100°, que le déplacement de l'ammoniaque dans les mêmes sels par la potasse ou la soude. La présence de la magnésie ralentit même ce dernier, à moins que les alcalis solubles ne soient en dose très prépondérante.

Ces phénomènes trouvent leur explication dans la formation des composés ammoniaco-magnésiens. Observons cependant que ces composés, étant dissociés, n'opposent dès lors au déplacement de l'ammoniaque qu'une résistance incomplète. Il en est surtout ainsi si l'élimination progressive de l'ammoniaque modifie incessamment les conditions de l'équilibre qui tendraient à s'établir.

2. Nous avons été ainsi conduits à examiner de plus près les conditions de cet équilibre de dissociation et à définir les énergies qui y président, par la détermination des quantités de chaleur mises en jeu : tel est l'objet de nos *Recherches thermiques sur les réactions entre l'ammoniaque et les sels magnésiens.*

3. Le troisième mémoire, intitulé : *Contributions à la décomposition des amides par l'eau et par les acides étendus,* se rapporte à la question générale du dosage de l'ammoniaque préexistante dans les sols. Par opposition aux expériences précédentes, qui établissaient la lenteur avec laquelle certains sels ammoniacaux se décomposent au contact de la magnésie, on montre dans le troisième mémoire que les acides, les alcalis et même l'eau pure déterminent une décomposition progressive de certains amides avec régénération d'ammoniaque.

On distinguera à cet égard les amides dérivés directement de l'union de l'ammoniaque avec les acides, corps susceptibles de régénérer aisément lesdits alcalis volatils, et les alcalamides, dérivés de l'union de ces mêmes acides avec les alcalis organiques non volatils. Ce n'est pas que certains de ces alcalamides soient moins altérables que les amides précédentes ; mais ils ne manifestent pas d'ammoniaque, ou d'alcalis volatils, par leur décomposition. Il en est ainsi parce que les alcalis fixes qu'ils régénèrent résultent eux-mêmes de l'union de l'ammoniaque avec des corps non acides, tels que les alcools ou les aldéhydes, et ne régénèrent pas facilement l'ammoniaque elle-même sous l'influence des acides étendus ou des alcalis, soit à froid, soit à 100 degrés.

De là plusieurs groupes d'amides, se comportant très différemment au point de vue qui nous occupe, à savoir :

Les amides, dérivés de l'union des acides avec l'ammoniaque, et la régénérant assez aisément ;

Les amines, dérivées de l'union des alcools ou des aldéhydes avec l'ammoniaque, qu'elles régénèrent assez difficilement : à la vérité, les amines volatiles se comportent à peu près comme l'ammoniaque au point de vue qui nous occupe ; mais il en est autrement des alcalis fixes ou peu volatils ;

Enfin les alcalamides, et surtout les dérivés de l'union des amines fixes avec les acides.

Ces distinctions sont fort importantes pour l'analyse chimique.

4. Le dégagement lent d'ammoniaque que manifeste la terre végétale a été souvent attribué au carbonate d'ammoniaque, soit préexistant, soit formé par la réaction du carbonate de chaux sur les

sels ammoniacaux du sol, avec le concours de l'humidité. Pour prendre une idée plus exacte des principes qui peuvent régler de telles réactions, il nous a paru utile de soumettre à une étude spéciale le bicarbonate d'ammoniaque. Nous avons examiné d'abord la *tension du bicarbonate d'ammoniaque sec.*

5. Puis nous avons étudié la *décomposition du bicarbonate d'ammoniaque par l'eau,* laquelle présente des circonstances spéciales et caractéristiques.

6. De même, l'examen des conditions de décomposition du phosphate ammoniaco-magnésien par les alcalis et, plus généralement, du déplacement de l'ammoniaque par la magnésie, en présence des phosphates, composés présents dans toutes les terres végétales; cet examen, disons-nous, nous a engagés dans un travail considérable et qui a une valeur propre. Nous le résumerons dans deux Mémoires intitulés, l'un : *Recherches sur les phosphates* et l'autre :

7. *Recherches sur le phosphate ammoniaco-magnésien.* — Nous y établissons l'existence de deux états moléculaires distincts : l'un amorphe et colloïdal, l'autre cristallisé pour les phosphates insolubles, tels que ceux de baryte, de strontiane, de chaux, de magnésie, etc. L'existence de ces deux états, ainsi que celle de certains sels doubles cristallisés, produits dans la précipitation de ces mêmes phosphates, donnent lieu à des considérations fort importantes sur la constitution même des phosphates, et sur les conditions du déplacement de l'ammoniaque par la magnésie en présence des phosphates, objet initial de notre recherche.

8. Revenant alors à l'étude de la terre elle-même, dans un Mémoire intitulé : *Sur les principes azotés de la terre végétale,* nous avons étudié l'action que l'acide chlorhydrique exerce sur elle, et montré comment cet acide y détermine une transformation progressive des composés azotés insolubles qu'elle renferme, transformation tout à fait analogue à celle des principes albuminoïdes. Un jour inattendu est jeté par là sur la nature jusqu'ici si obscure des principes constitutifs de la terre végétale et une voie de recherches toute nouvelle se trouve ouverte.

9. Nous avons enfin étudié d'une manière directe, et défini par des

expériences précises, l'*émission de l'ammoniaque par la terre végétale,* sujet dont il n'est pas nécessaire de montrer l'intérêt.

Telle est la liste des Mémoires dont nous allons présenter le résumé.

DEUXIÈME MÉMOIRE

Sur le déplacement de l'ammoniaque par la magnésie.

Nous avons eu occasion de faire diverses observations sur le déplacement de l'ammoniaque, tant à froid qu'à chaud, par les alcalis, tels que la soude et les terres alcalines, la chaux, et spécialement la magnésie.

Ces expériences démontrent la difficulté et la lenteur du déplacement de l'ammoniaque dans les sels doubles, bien que le déplacement ne soit pas, tant s'en faut, devenu absolument impraticable. Mais elles établissent que, dans des conditions données, la magnésie et, pour certains cas, la chaux, ne réussissent qu'avec bien de la peine à déplacer entièrement l'ammoniaque à froid. Cette difficulté existe même à 100°.

Elle existe surtout pour l'ammoniaque dans le phosphate ammoniaco-magnésien cristallisé ; dans les chlorures doubles d'ammonium et de magnésium, quoique à un degré moindre ; enfin dans le chlorhydrate d'ammoniaque, à un degré moindre encore.

Les sels qui ont subi une première action de la magnésie, soumis dans des conditions ménagées à l'action ultérieure de la soude étendue et bouillante, pendant une heure, persistent parfois à garder une portion notable de leur ammoniaque. Cependant cette ammoniaque peut être éliminée à la longue, surtout dans des appareils où l'eau, condensée à des températures croissantes, finit par abandonner toute l'ammoniaque dissoute. L'élimination, dans tous les cas, a lieu entièrement et rapidement par l'action de la chaux sodée au rouge.

L'hydrate de chaux ne déplace à 100°, par une ébullition qui n'est pas extrêmement prolongée, qu'une portion de l'ammoniaque contenue dans le phosphate ammoniaco-magnésien cristallisé.

A froid, l'action de la chaux se prolonge indéfiniment en présence de ce sel. Elle se prolonge aussi fort longtemps en présence des chlorures doubles d'ammonium et de magnésium, ou de zinc, quoique ces sels doubles soient plus attaquables que le phosphate ammoniaco-magnésien. Ce phosphate d'ailleurs, dans son état colloïdal et récemment précipité, est plus altérable que dans l'état cristallisé.

La soude seule est tout à fait efficace pour déplacer l'ammoniaque à 100°, en présence des sels magnésiens, lorsqu'on l'emploie du premier coup. Toutefois elle n'y réussit, dans les conditions d'une distillation ordinaire, qu'au bout d'un temps plus long qu'avec le chlorhydrate d'ammoniaque pur. Si l'on opère à froid, dans des solutions diluées, son action est progressive et parfois presque interminable. Par exemple, le déplacement de l'ammoniaque n'était pas achevé à froid au bout de sept jours, et même de treize jours, avec le phosphate ammoniaco-magnésien cristallisé. Les chlorures doubles d'ammonium et de magnésium ou de zinc résistent un peu moins : dans un appareil ordinaire, ils n'avaient pas perdu toute leur ammoniaque, par l'action de la soude étendue, au bout de trois jours, contrairement à ce qui arrive au chlorhydrate d'ammoniaque. Ces sels doubles ont exigé ainsi une semaine à froid.

La soude, mêlée à l'avance avec la magnésie, agit à peu près comme la soude pure sur les sels précédents. Mais, si l'on a fait agir d'abord la magnésie seule pendant quelque temps, ainsi qu'on l'a dit plus haut, la soude demeure ensuite peu efficace à compléter l'action, du moins dans un temps comparable à celui qui suffit avec les sels ammoniacaux simples. Cependant, par une ébullition suffisamment prolongée, on finit par en déplacer toute l'ammoniaque.

De tels faits sont tout à fait analogues à ceux que nous avons observés avec certains corps amidés et aussi avec certaines terres végétales, contenant à la fois des phosphates, des sels magnésiens et des composés humiques azotés.

Pour éviter tout malentendu, une remarque essentielle doit être faite ici.

En ce qui touche le chlorhydrate d'ammoniaque et les chlorures doubles traités par la magnésie, nous voulons parler d'une incapa-

cité relative et non absolue, c'est-à-dire qui s'applique aux mêmes conditions de temps, de température et de volatilisation de l'eau, où la chaux et la soude opèrent un déplacement total. On peut, en effet, rendre ce déplacement complet à la longue, dans tous les cas, si l'on pousse beaucoup plus loin la distillation; ou bien, si l'on opère dans des conditions spéciales d'élimination de l'ammoniaque et de séparation entre cet alcali gazeux et l'eau : par exemple, à l'aide de condensations partielles et successives à des températures décroissantes, telles que celles qui ont lieu dans le serpentin ascendant de grand diamètre employé par M. Schlœsing. Mais le ralentissement du déplacement et la difficulté d'opérer une réaction complète avec la magnésie, surtout à froid et même à 100°, en présence du phosphate ammoniaco-magnésien cristallisé particulièrement, n'en sont pas moins faciles à constater. Nous ne savons même s'il est possible d'y parvenir à froid, dans un temps pratique, lorsqu'on traite par la magnésie le phosphate ammoniaco-magnésien, isolé préalablement et cristallisé. En tout cas, cette impuissance de la magnésie à éliminer les dernières portions d'ammoniaque est essentiellement comparative.

La théorie indique qu'elle ne saurait avoir rien d'absolu, attendu qu'elle s'applique à des composés dissociés, dans lesquels l'ammoniaque conserve une certaine tension : il importe de ne point laisser place à quelque équivoque à cet égard. En raison de l'existence de cette tension, si faible qu'elle soit, il est facile de prévoir que l'élimination progressive de l'ammoniaque serait une question de temps, de température et de quantités relatives d'eau vaporisée.

Mais le fait lui-même de la résistance beaucoup plus grande des sels ammoniaco-magnésiens à la décomposition par la magnésie à 100°, et surtout à froid, n'en mérite pas moins d'être signalé, tant au point de vue de l'Analyse que de la Mécanique chimique.

Cette résistance s'explique par la formation de certains composés complexes, tels que les oxydes doubles d'ammonium et de magnésium, ou de zinc (ou de cuivre, etc.), les chlorures ammoniacaux de ces métaux, et les sels basiques dérivés de ces oxydes doubles : oxydes doubles, chlorures ammoniacaux et sels basiques formés parfois avec des dégagements de chaleur tels que les alcalis fixes seraient

impuissants à les décomposer, si ces sels et oxydes doubles n'étaient à l'état d'équilibre et de dissociation partielle, en présence de l'eau. C'est cette dissociation, croissante avec la température, qui règle en définitive le partage des bases et, par suite, la tension en vertu de laquelle l'ammoniaque s'élimine plus ou moins rapidement.

On définira la chaleur propre de formation des sels formés par ces oxydes doubles dans un autre Mémoire ; mais on se borne à exposer dans le premier les faits relatifs à la durée et à la difficulté relative des déplacements.

Ainsi les sels doubles précités cèdent leur ammoniaque, en présence de la soude, bien plus lentement que les sels ammoniacaux simples, c'est-à-dire non associés avec le sel d'une autre base. On voit, en outre, que la magnésie est presque impuissante, dans les conditions de durée et de dispositif signalées ci-dessus, à déplacer entièrement l'ammoniaque, surtout avec le phosphate ammoniaco-magnésien ; bien qu'à la longue, ou dans des conditions spéciales d'élimination, le déplacement puisse finir par s'accomplir.

Avec certains sels, tels que le phosphate ammoniaco-magnésien, e déplacement *à froid* peut même être très faible ou nul.

Ce sont là des circonstances dont il conviendra désormais de tenir compte dans l'analyse des terres et autres produits renfermant des matières organiques associées aux phosphates ou à la magnésie : l'analyse par simple réaction des alcalis à froid étant alors tout à fait insuffisante, et l'analyse par distillation à 100° plus longue et plus difficile, dans les conditions ordinaires, que lorsqu'il s'agit des sels ammoniacaux proprement dits.

TROISIÈME MÉMOIRE

Recherches thermiques sur les réactions entre l'ammoniaque et les sels magnésiens.

1. Pour mieux définir les déplacements réciproques entre l'ammoniaque, la magnésie, les oxydes et composés complexes résultant de l'association de ces deux bases, ainsi que les équilibres qui prési-

dent à ces déplacements, il m'a paru utile de mesurer l'énergie mise en jeu, c'est-à-dire la chaleur dégagée dans certains cas caractéristiques. Ces mesures attestent, en conformité avec les faits connus et avec ceux que nous avons publiés, M. André et moi, la formation avec la magnésie de composés spéciaux, analogues à ceux que l'ammoniaque contracte avec les autres sels et oxydes des métaux de la série dite *magnésienne,* tels que le cuivre, le zinc et congénères. Je me suis limité aux réactions développées par l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et par l'acide phosphorique : ce sont là des cas caractéristiques.

L'ensemble de mes observations concourt à définir l'action de l'ammoniaque sur les sels magnésiens; il précise les conditions analytiques qui permettent la séparation de la magnésie avec les autres sels alcalino-terreux.

Il montre surtout que la base complexe ammoniaco-magnésienne dégage, en s'unissant soit à l'acide sulfurique, soit à l'acide chlorhydrique, une quantité de chaleur supérieure de $+ 1^{cal},8$ environ à l'ammoniaque pure, de $+ 0,5$ à peu près à la magnésie pure, fort voisine enfin de la chaleur dégagée par la potasse et par la soude.

Ainsi l'association d'un oxyde métallique, tel que la magnésie, avec l'ammoniaque donne lieu à la formation d'un alcali complexe, analogue aux oxydes de tétraméthyl-ammonium, doué d'une énergie supérieure à celle de l'oxyde métallique générateur et comparable à celle des alcalis les plus puissants.

QUATRIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Contribution à l'histoire de la décomposition des amides par l'eau, les alcalis et les acides étendus.

Les principes azotés contenus dans les êtres vivants et dans les terres végétales sont, pour la plupart, de la catégorie des amides ; c'est-à-dire qu'ils résultent de l'union de l'ammoniaque avec certains corps oxygénés, union accompagnée par l'élimination des éléments

de l'eau. Réciproquement, la fixation des éléments de l'eau régénère l'ammoniaque, avec une facilité très inégale d'ailleurs.

Cette régénération est surtout facile en présence des bases, lorsque le corps oxygéné est un acide ; auquel cas les bases minérales puissantes l'accélèrent, en vertu de l'énergie complémentaire représentée par la chaleur mise en jeu dans l'union de ces bases avec l'acide correspondant. C'est ce que l'on appelait autrefois *affinité prédisposante :* M. Berthelot en a donné l'interprétation thermochimique en 1865.

La reproduction de l'ammoniaque des amides n'est pas moins facilitée, dans la plupart des cas, par la présence des acides énergiques et par l'énergie mise en jeu lors de leur combinaison avec l'ammoniaque. Ainsi le cyanate de potasse, composé assez stable en présence des alcalis étendus, se détruit immédiatement, même à froid, en présence de l'acide chlorhydrique étendu, avec production de chlorhydrate d'ammoniaque et d'acide carbonique : réaction accompagnée par un dégagement de $+ 28^{cal},8$, d'après les expériences de l'un de nous[1]. L'acide chlorhydrique, concentré à la vérité, détruit également à froid l'acide cyanhydrique, en produisant du sel ammoniac, et en dégageant $+ 11^{cal},15$[2].

On voit, par ces faits, combien il serait périlleux de recourir à l'emploi de l'acide chlorhydrique, même étendu, pour doser exactement l'ammoniaque préexistante, dans les matières renfermant de tels composés amidés.

Nous avons cru utile d'entreprendre des expériences spéciales pour mieux définir, à cet égard, le degré de stabilité en présence des acides de quelques amides typiques, qui jouent un rôle essentiel dans les tissus des êtres organisés, tels que l'urée, l'asparagine, l'oxamide, l'acide aspartique, l'acide urique, etc., composés de l'ordre de ceux sur lesquels Boussingault avait déjà étudié autrefois l'action des alcalis.

---

1. *Sur la force des matières explosives,* t. II, p. 94.
2. Même ouvrage, t. II, p. 55.

Urée.

Nous avons examiné d'abord l'action de l'acide chlorhydrique, puis celle des alcalis, tels que la soude, alcali puissant; la magnésie, alcali faible; enfin l'eau pure : ce qui achève de définir les phénomènes.

L'acide chlorhydrique étendu lentement décompose à fond l'urée et il en décompose huit fois autant que la soude dans le même temps.

Son action est bien plus prononcée à l'ébullition qu'à froid.

Asparagine.

L'asparagine est également attaquée à froid et mieux à l'ébullition par l'acide chlorhydrique, la magnésie ou la soude.

L'action de la soude à froid est bien plus prononcée que celle de l'acide, contrairement à ce qui arrive pour l'urée.

Oxamide.

Décomposition sensible par l'acide chlorhydrique froid.

Conclusions.

Les expériences précédentes ont été exécutées avec des amides simples, susceptibles de régénérer un acide et de l'ammoniaque, tant par l'action de l'eau pure que par celle des acides, ou des alcalis minéraux étendus.

L'action d'un même acide, en particulier, varie d'intensité selon la nature de l'amide. Elle est presque instantanée entre l'acide chlorhydrique et le cyanate de potasse; plus lente, mais très marquée, avec l'urée ; notable encore avec l'asparagine et l'oxamide.

Elle a été trouvée proportionnelle au temps.

Cette proportionnalité s'applique, bien entendu, aux petites variations; c'est-à-dire qu'elle représente l'équation différentielle de la vitesse du phénomène, conformément à la théorie de M. Berthelot, exposée par lui il y a une vingtaine d'années et devenue aujourd'hui classique.

L'action croît rapidement avec la température.

Elle croît aussi avec la concentration : non pas tant en raison de la variation de l'énergie chimique de la réaction qui préside au phénomène, qu'en raison de la multiplication, dans un temps donné, du nombre des contacts entre la molécule de l'amide et celle de l'acide, contacts renouvelés sans cesse par suite des mouvements intestins du liquide.

L'action décomposante que l'acide chlorhydrique étendu exerce ainsi à froid sur les amides est comparable à celle que les alcalis puissants exercent de leur côté ; mais elle n'est pas semblable. En effet, si cet acide dédouble certains amides, tels que l'acide cyanique et même l'urée, bien plus rapidement que ne le fait la potasse ou la soude, à dose équivalente, et dans les mêmes conditions de température et de concentration ;

Au contraire, d'autres amides, tels que l'asparagine, sont dédoublés plus aisément par la soude que par l'acide chlorhydrique. Cette inégalité tient probablement à des conditions thermochimiques.

I. — *Amides et alcalamides.*

Si l'on opérait, non plus avec les *amides dérivés directement des sels ammoniacaux,* mais avec les *amines* dérivées des alcools, des aldéhydes ou des acides-alcools ; ou bien encore avec les *amides complexes* ou *alcalamides,* dérivés des amines précédentes, les résultats seraient d'une autre nature. En effet, les amines régénèrent l'ammoniaque bien plus difficilement que les amides. Quant au dédoublement des amides complexes, il régénère tout d'abord des amines peu ou point volatiles, que la distillation avec la magnésie ne permet pas de doser.

Les acides, d'ailleurs, tels que l'acide chlorhydrique, tendent spécialement à régénérer les alcalis azotés de leurs dérivés, en raison de leur fonction alcaline, c'est-à-dire en vertu de l'excès d'énergie (dégagement de chaleur) mis en jeu dans la formation des chlorhydrates ; tandis que les bases minérales tendent à mettre en jeu l'excès d'énergie dû à la fonction acide des générateurs et à la formation des composés salins.

Dans le cas de corps à fonctions multiples, tels que les amides, dérivés des amines acides de l'ordre de la glycollamine et des leucines ; dans ce cas, dis-je, les acides minéraux, aussi bien que les alcalis minéraux, tendent à régénérer le même corps, à la fois azoté et oxygéné, la glycollamine par exemple, parce que les acides et les alcalis sont également susceptibles de s'y combiner, chacun de leur côté. Cette action n'est pas la même dans les deux cas, parce que la formation du composé acide ne dégage pas la même quantité de chaleur que la formation du composé alcalin. Enfin, nous devons ajouter que l'action de l'acide ou de l'alcali, pour former une combinaison directe avec le principe azoté, s'exerce tout d'abord, indépendamment de l'action propre et plus profonde de l'acide (ou de l'alcali) minéral, pour reproduire l'ammoniaque aux dépens de ce même principe azoté.

On voit comment la théorie explique la nature variable des énergies mises en jeu dans toutes ces réactions.

Amides mixtes.

Les résultats sont plus compliqués avec les amides mixtes, dérivés à la fois de l'ammoniaque et des amines alcooliques. Nous en avons présenté un exemple avec l'asparagine, dérivé ammoniacal de la malamine, exemple très net, parce que nous avons étudié comparativement la malamine elle-même, c'est-à-dire l'acide aspartique. On pourrait en fournir bien d'autres, surtout avec l'albumine et les principes congénères, principes scindables par hydratation sous l'influence des acides aussi bien que des alcalis, en ammoniaque et amines diverses, leucines et leucéines, d'après les grands travaux de M. Schützenberger.

Nous avons fait sur ces principes divers essais analogues ; mais leur complexité est trop grande pour qu'il soit opportun d'en donner le détail, la théorie de ces décompositions nous paraissant suffisamment établie par les expériences que nous venons d'exposer. Disons seulement que nous signalerons bientôt certains faits qui manifestent une constitution analogue à celle des albuminoïdes et une altérabilité

du même ordre, par les acides comme par les alcalis, dans les principes azotés constitutifs de la terre végétale.

CINQUIÈME MÉMOIRE

Recherches sur la tension du bicarbonate d'ammoniaque sec.

1. La tension de l'ammoniaque dans l'air, le sol, les eaux naturelles, et ses échanges entre ces divers milieux doivent-ils être assimilés à la tension de cet alcali libre, dissous dans l'eau pure, et à sa diffusion entre une atmosphère inerte et des solutions purement aqueuses ? C'est là un problème fort important, à la solution duquel nous nous sommes proposé d'apporter quelques documents nouveaux. Le problème est complexe : en effet, l'ammoniaque n'existe qu'en quantités presque infinitésimales dans ces milieux et elle s'y trouve partout en présence d'autres composés, auxquels elle est susceptible de se combiner pour former des combinaisons diversement stables, sels ammoniacaux et amides, plus ou moins faciles à dédoubler par l'eau et par les alcalis, tant libres que carbonatés. Parmi ces composés qui s'unissent à l'ammoniaque, le plus universellement répandu est l'acide carbonique, partout présent dans l'eau, dans le sol et dans l'air, et présent en doses incomparablement supérieures à celles de l'ammoniaque. Dans la nature, l'ammoniaque doit donc tendre à être saturée par l'acide carbonique et à former du bicarbonate : autant du moins que le permettent les lois de la dissociation et de la décomposition de ce dernier sel, en présence soit d'une atmosphère gazeuse presque illimitée, soit d'une masse de vapeur d'eau ou d'eau liquide très considérable. C'est à ces lois de dissociation et de décomposition que la diffusion de l'ammoniaque, ainsi que ses échanges, sont subordonnés.

Nous avons fait des expériences spéciales pour les définir.

Nous avons reconnu entre autres résultats que l'acide carbonique et l'ammoniaque, formés aux dépens du sel attaqué par la vapeur d'eau, se répandent dans l'atmosphère limitée du cristallisoir et se

dissolvent en partie dans l'eau liquide, pour y reconstituer un carbonate. Mais le transport des trois composants du sel : acide carbonique, ammoniaque et eau, n'a pas lieu en proportion équivalente, simultanément du moins ; il se fait d'ailleurs suivant des lois toutes différentes de celles qui répondraient au simple échange de l'ammoniaque entre sa solution aqueuse et l'eau pure. Nous le montrerons bientôt par d'autres expériences où nous étudierons plus en détail cette influence de l'eau.

En résumé, le rôle des trois composants du sel ammoniacal n'est pas le même dans sa dissociation : le gaz carbonique et le gaz ammoniac, même en grand excès, n'ayant pas une influence sensible sur la tension du bicarbonate, à la température ordinaire, tandis que l'eau liquide en détermine la décomposition, indépendamment des lois de la dissociation proprement dite du sel, et probablement en raison de ses combinaisons particulières avec le sel, dans son intégralité ou avec ses composants.

SIXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Recherches sur la décomposition du bicarbonate d'ammoniaque par l'eau et sur la diffusion de ses composants à travers l'atmosphère.

1. Dans la nature, c'est en général en présence de l'eau que l'ammoniaque et l'acide carbonique peuvent réagir, au sein des terres, des eaux, de l'atmosphère. Il est donc nécessaire d'étudier séparément, d'autre part, la tension du bicarbonate d'ammoniaque sec, ce que nous venons de faire, et, d'autre part, la décomposition du bicarbonate d'ammoniaque par l'eau employée en diverses proportions ainsi que la diffusion de ses composants en présence de ce menstrue.

Les faits obtenus concourent à établir qu'en présence d'un excès d'acide carbonique le transport de l'ammoniaque, à travers l'atmosphère et jusqu'à une liqueur aqueuse, se fait suivant des lois toutes différentes de celles qui régissent le transport de l'ammoniaque en présence d'un gaz inerte. Tandis que ce dernier est réglé par la

tension des dissolutions aqueuses d'ammoniaque ; au contraire, le transport en présence de l'acide carbonique ne dépend pas, pour sa portion principale du moins, de la tension de l'ammoniaque totale du sel, assimilée à la tension de cet alcali pur ; mais elle dépend surtout de la tension comparative de l'acide carbonique dans les liqueurs et dans l'atmosphère qui le retient. En un mot, c'est la diffusion de l'acide carbonique qui règle la décomposition par l'eau du bicarbonate d'ammoniaque et, par suite, le transport de l'ammoniaque. Ce sont là des données capitales pour l'étude, même purement physique, et indépendamment de la végétation, des phénomènes qui président à la circulation des gaz entre le sol, les eaux et l'air atmosphérique.

SEPTIÈME ET HUITIÈME MÉMOIRES (RÉSUMÉ)

Recherches sur les phosphates.

1. En poursuivant l'étude des équilibres entre l'ammoniaque et la magnésie, vis-à-vis de l'acide phosphorique, j'ai été conduit à reprendre l'examen des phosphates, sels des plus intéressants pour la mécanique chimique, à cause de la polybasicité de l'acide phosphorique et du caractère dissemblable que présentent les trois degrés successifs de sa saturation par les bases. Qu'il me soit permis de rappeler à cet égard nos recherches faites en commun avec M. Louguinine (*Annales de Chimie et de Physique,* 5e série, t. IX, p. 23 ; 1876), la vérification de cette triple limite de saturation par les réactions des matières colorantes, d'après M. Joly et M. Engel, et la théorie thermique que j'en ai donnée (même Recueil, 6e série, t. IV, p. 506).

Voici de nouvelles observations relatives aux doubles décompositions, lesquelles révèlent dans les phosphates tribasiques insolubles l'existence de deux états distincts : l'un colloïdal, amorphe, instable, répondant à la constitution multiple des phosphates solubles ; l'autre cristallisé, stable, formé avec un dégagement de chaleur plus considérable et dans lequel les trois équivalents basiques sem-

blent au contraire jouer le même rôle. Ce n'est pas tout : lorsqu'on laisse les phosphates précipités en contact avec la solution de chlorure de sodium, en présence de laquelle ils ont pris naissance, il arrive souvent, d'après les recherches récentes de M. Joly, qu'ils ne tardent pas à éprouver un nouveau changement, en se transformant en certains sels doubles très caractéristiques, lesquels répondent à la fois à la plus grande stabilité et au dégagement de chaleur maximum.

Ces phénomènes jouent un certain rôle dans le déplacement de l'ammoniaque par la magnésie, en présence des phosphates.

J'ai également défini la chaleur de formation du phosphate ammoniaco-magnésien.

En effet, on peut expliquer aussi la difficulté que l'on éprouve à déplacer l'ammoniaque dans le phosphate ammoniaco-magnésien par la chaux ou par la magnésie, à froid et même à 100°. La chaux, par exemple, tend à former d'abord du phosphate colloïdal tribasique, dont la chaleur de formation est bien moindre que celle du phosphate double. La magnésie également est surpassée par l'ammoniaque, même dans les sels cristallisés dont il s'agit. Il n'y a pas lieu, dès lors, à un déplacement direct et immédiat. Si celui-ci est possible à la rigueur et à la longue, c'est à la condition de faire intervenir l'état de dissociation, sensible surtout à chaud, mais très faible alors même, de tous les sels ammoniacaux, puis d'éliminer à mesure l'ammoniaque par volatilité, afin de permettre à l'état de dissociation de se reproduire. Cet état séparant quelque dose d'ammoniaque et de phosphate bibasique, la magnésie libre, en excès, reconstitue le phosphate bibasique, et les mêmes phénomènes, graduellement renouvelés, finissent par amener un déplacement total ; surtout si l'on part du phosphate colloïdal, au moment où il est reprécipité de la solution acide. Le mécanisme de ces effets est le même que j'ai déjà developpé, en parlant de l'action du chlorhydrate d'ammoniaque sur le phosphate de soude.

L'ensemble de ces observations thermochimiques jette un jour nouveau sur les conditions qu'il convient d'observer dans les dosages des phosphates, des sels magnésiens et de l'ammoniaque par analyse chimique, et il rattache ces conditions, jusqu'ici purement empiriques, à des notions générales de Mécanique moléculaire.

NEUVIÈME MÉMOIRE

Sur les principes azotés de la terre végétale.

La terre végétale renferme une dose notable d'azote, source essentielle de cet élément dans le développement des plantes et des êtres organisés. Cette dose s'élève communément à un ou deux millièmes, suivant les sols. L'azote existe dans la terre, principalement sous la forme de principes organiques quaternaires, renfermant l'azote associé au carbone, à l'hydrogène et à l'oxygène, et presque entièrement insolubles. La constitution chimique de ces principes est à peu près inconnue. Nous avons été conduits à en entreprendre l'étude, et nous avons constaté tout d'abord que ce sont des principes amidés, qui se comportent à la façon des principes albuminoïdes, et qui engendrent pareillement, sous l'influence des acides comme des alcalis, et même de l'eau pure, une certaine dose d'ammoniaque et une dose plus considérable de composés amidés solubles. Nous allons donner une première série d'expériences, faites en présence de l'acide chlorhydrique étendu.

On a pris, dans les terrains de la station de chimie végétale de Meudon, de la terre, débarrassée de tous débris visibles des plantes: on l'a séchée à l'air libre pendant 48 heures, puis passée au tamis de $0^{m},001$. On en a pris des poids compris entre 200 grammes et 500 grammes. Puis, on l'a délayée dans un ballon, avec de l'eau et de l'acide chlorhydrique, à diverses concentrations, et pendant des temps divers.

Cela fait, on décante la liqueur claire sur un filtre, on lave par décantation, etc.; le volume total obtenu étant de 1200^{cc} à 1400^{cc}. On neutralise exactement par la potasse; puis on rend aussitôt la liqueur très légèrement acide. On y ajoute ensuite de 2 grammes à 4 grammes de magnésie récemment calcinée, et l'on procède au dosage de l'ammoniaque dans l'appareil Schlœsing, et en suivant le procédé de ce savant. On obtient ainsi une certaine dose d'ammoniaque, tant préexistante dans les liqueurs que formée pendant l'ébullition avec l'eau et la magnésie.

La même réaction, exécutée sur la terre, après l'avoir maintenue en contact avec l'eau pure, donne une limite maximum pour la formation d'ammoniaque, provoquée par l'eau et la magnésie.

Dans tous les cas, après épuisement de l'ammoniaque, ou plus exactement après une heure d'ébullition avec la magnésie, on neutralise le contenu du ballon par l'acide sulfurique, on l'évapore à sec au bain-marie, et l'on y dose l'azote au rouge par la chaux sodée ; c'est ce que nous appellerons l'*azote amidé soluble*.

Il résulte de ces expériences que :

1° La dose d'ammoniaque fournie par la terre croît avec la dose d'acide chlorhydrique employée à froid, à partir des doses faibles de cet acide et à mesure que ces doses deviennent plus considérables et l'acide lui-même plus concentré. En 18 heures, la dose d'ammoniaque a varié ainsi : de 0gr,0048 par kilogramme à 0gr,0149, le poids de l'acide ayant décuplé. Avec l'eau pure, on avait eu seulement 0gr,0017 dans les mêmes conditions.

En 5 jours, à froid, la dose d'ammoniaque formée a crû de même avec la concentration de l'acide : de 0gr,0087 à 0gr,0304.

En opérant à 100°, on a observé au bout de 2 heures une variation de 0gr,0488 à 0gr,1241, suivant la concentration de l'acide.

2° La dose de l'ammoniaque constatée croît également, pour une même dose d'acide et une même température, avec la durée du contact.

3° Enfin la dose d'ammoniaque formée, comme le montrent les chiffres des tableaux précédents, croît avec la température, pour une même concentration de l'acide et une même durée de contact.

Ce sont précisément les mêmes actions que nous avons signalées pour l'urée, l'asparagine, l'oxamide, en un mot pour les amides proprement dits[1].

---

1. M. Grandeau, dans son *Traité classique d'analyse des matières agricoles* (1883), p. 179, pour doser l'ammoniaque réputée préexistante, expose le procédé suivant, qu'il attribue à M. Schlœsing : il prescrit de prendre 100 grammes de terre et de la traiter par l'acide chlorhydrique concentré, étendu de 4 parties d'eau, à la dose de 100 cent. cubes ajoutés en deux fois, parfois avec addition ultérieure ; on complète 400 cent. cubes et on laisse déposer jusqu'à éclaircissement, ce qui exige généralement de 6 à 12 heures. On décante, puis on traite la liqueur par la magnésie dans l'appareil Schlœsing, etc. Ces conditions peuvent être rapprochées de celles de nos expériences, en tenant compte des doses variables de carbonate de chaux contenues dans les différentes terres.

En même temps que la dose d'ammoniaque déplaçable par la magnésie augmente sous l'influence de la concentration de l'acide, de la durée du contact et de la température, la proportion des principes amidés solubles augmente parallèlement, sous l'influence des mêmes causes et conditions, jusqu'à contenir dans les cas extrêmes un tiers environ de l'azote total.

Cependant il n'y a pas proportionnalité exacte entre la formation de l'ammoniaque et celle des principes amidés. En effet, le rapport de l'azote amidé à l'azote ammoniacal était à peu près quintuple, après 18 heures de contact à froid avec un acide donné ; il a été seulement 3 fois et demie aussi fort, après 5 jours à froid ; et triple, après 2 heures vers 100°. Les principes qui fournissent surtout de l'ammoniaque sont donc attaqués un peu plus rapidement que les autres.

Dans tous les cas, les chiffres de nos analyses établissent que l'altérabilité des principes amidés de la terre par l'acide chlorhydrique étendu croît avec la concentration de l'acide, la durée du contact et la température. Mais elle se manifeste déjà sous l'influence de l'acide le plus étendu et même de l'eau pure.

Nous avons fait un premier examen des principes amidés rendus solubles par l'acide chlorhydrique. Nous avons reconnu ainsi que ces principes se composent de deux groupes :

Les uns qui demeurent dissous lors de la neutralisation exacte de l'acide par la potasse ;

Les autres qui se précipitent (avec la chaux, l'alumine et l'oxyde de fer).

Dans un essai spécial, fait à froid, en présence de l'acide chlorhydrique au trentième (18 heures), nous avons obtenu, pour l'azote contenu dans ces deux groupes de principes amidés, les valeurs $0^{gr},023$ et $0^{gr},017$, respectivement rapportées à 1 kilogr. La somme $0^{gr},040$ est intermédiaire entre celles obtenues dans les essais II et III, ainsi qu'on devait le prévoir. Quant au rapport entre les deux ordres de principes, il ne serait pas fort éloigné de l'égalité : mais ce résultat ne peut être regardé que comme une indication. Nous poursuivons l'étude de ces divers principes, étude très intéressante pour la connaissance de la constitution chimique de la terre végétale.

Quoi qu'il en soit, les faits observés montrent que l'ammoniaque fournie par la terre végétale qui a servi à nos expériences résultait presque en totalité de certains dédoublements, opérés sous l'influence de l'acide chlorhydrique, aux dépens des principes azotés insolubles, contenus dans cette terre : principes comparables, par leur constitution complexe, aux amides mixtes et aux composés albuminoïdes. Les acides, les alcalis, l'eau même, à froid, et surtout à 100°, opèrent avec une vitesse plus ou moins considérable des dédoublements analogues, aux dépens des mêmes principes azotés de la terre végétale.

Les traces d'ammoniaque que la terre végétale exhale continuellement sont également attribuables à cet ordre de dédoublements provoqués soit par l'eau, soit par certains ferments.

Ajoutons enfin que l'eau de pluie contient, à côté de l'ammoniaque et des azotates, certains principes amidés, tant solubles qu'insolubles, principes dont l'origine est attribuable aux poussières de l'atmosphère et qui renfermaient, dans quelques-unes de nos analyses, jusqu'à trois fois autant d'azote que celui de l'ammoniaque et des nitrates réunis.

Ce sont là des circonstances dont il importera désormais de tenir compte, soit dans les analyses, soit dans l'étude des conditions de la fertilité du sol et de l'assimilation des matières qu'il renferme par les végétaux.

DIXIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Recherches sur l'émission de l'ammoniaque par la terre végétale.

Nous avons entrepris d'étudier l'émission de l'ammoniaque par la terre végétale, question d'un grand intérêt pour la connaissance des apports réels fournis par l'atmosphère.

Elle est d'ailleurs susceptible d'une solution plus rigoureuse et moins incertaine que la distinction de l'ammoniaque combinée dans le sol en ammoniaque libre, saline ou amidée : cette dernière dis-

tinction étant subordonnée à la définition difficile des actions exercées pendant un temps donné par les acides, les alcalis et par l'eau même, sur les sels ammoniacaux solubles et insolubles, ainsi que sur les amides et les alcalamides divers que le sol renferme.

Au contraire, l'ammoniaque émise spontanément par la terre végétale peut être dosée, sans faire agir sur la terre elle-même aucun réactif additionnel, susceptible de déterminer la formation de l'ammoniaque qu'il est destiné à doser. Nos résultats, avons-nous besoin de le dire, s'appliquent essentiellement aux terres argileuses de l'ordre des terres cultivées qui couvrent les plateaux supérieurs des environs de Paris : ce mot *terre* désigne des choses trop multiples et trop dissemblables pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en préciser la définition. Nos échantillons, d'ailleurs, n'ont subi ni lavages spéciaux, ni traitements de laboratoire préliminaires, susceptibles d'en altérer la composition.

Nous avons examiné d'abord l'émission de l'ammoniaque par des échantillons de terre superficielle et de terre plus profonde :

Au moment de la prise d'échantillon ; puis durant les premiers jours de sa conservation en vase clos.

Nous avons mesuré aussi la quantité d'ammoniaque libre fournie par la terre en vase clos, après une certaine durée de conservation, et dans diverses conditions.

Nous avons également étudié sur place l'émission de l'ammoniaque par un sol gazonné, couvert de végétation ; comparativement avec l'ammoniaque apportée par l'air atmosphérique, sur le même point et dans les mêmes circonstances.

On a obtenu, par exemple, pour l'azote ammoniacal émis sous une cloche et rapporté à 1 kilogr. de terre supposée sèche :

	APRÈS		
	2 jours.	15 jours.	30 jours.
	Milligr.	Milligr.	Milligr.
Terre superficielle	0,12	0,36	0,36
La même avec addition de 110 grammes d'eau	0,12	0,61	0,61
Terre profonde	0,14	0,42	0,55
La même avec addition de 110 grammes d'eau	0,14	0,27	0,49
La même avec 110 grammes eau et 110 grammes craie en poudre	0,14	0,71	0,76

Une autre série d'expériences, faites au mois de juin, avait fourni des résultats tout à fait analogues.

Observons que l'émission d'ammoniaque par cette terre, qui n'avait subi aucun lavage depuis un certain temps, était beaucoup plus marquée qu'avec la terre récemment lavée par des pluies prolongées.

L'émission d'ammoniaque s'est accrue avec le temps, avec l'addition de l'eau, avec l'additon du carbonate de chaux : ce qui s'explique, l'eau et le carbonate calcaire ayant pour effet d'accélérer la décomposition lente des principes amidés.

Un échantillon de la même terre, pulvérisé, tamisé et séché d'abord à l'air (ce qui avait dû faire disparaître à peu près l'ammoniaque libre), en a régénéré ensuite lentement quelque dose, pendant une conservation de quelques mois, dans un flacon fermé. Un dosage opéré ensuite à l'aide d'un courant d'air, a fourni pour 1 kilogr. :

Azote ammoniacal . . . . $0^{mgr},035$

Ces expériences manifestent et précisent la propriété que la terre végétale possède d'émettre spontanément de l'ammoniaque. L'émission est déterminée par la décomposition lente, mais nécessaire, des composés amidés et ammoniacaux que la terre renferme. La décomposition même est accomplie à la fois sous l'influence des actions purement chimiques, dues à l'eau, aux carbonates terreux, et sans doute aussi sous l'influence des actions physiologiques, attribuables aux fermentations, aux microbes, à la végétation proprement dite ; toutes causes agissant continuellement dans la nature.

Observons avec soin que cette émission d'ammoniaque résulte en majeure partie de réactions non réversibles, c'est-à-dire non susceptibles d'être limitées par un équilibre résultant d'actions chimiques inverses.

Au début, il n'existait pas d'ammoniaque dans l'atmosphère ambiante ; je veux dire l'atmosphère contenue au sein des flacons et vases renfermant ces terres. Mais les expériences ci-dessus montrent que cette ammoniaque a pu s'y former, en très petite dose, sans être réabsorbée par la terre et à mesure, du moins en totalité. 10 litres d'air mis en contact avec cette terre ont enlevé ainsi, dans les conditions susdites : $0^{mgr},035$ d'azote ammoniacal.

La présence de traces d'ammoniaque dans l'atmosphère ambiante n'empêche donc pas la formation de cet alcali dans la terre. On ne comprendrait pas d'ailleurs qu'elle l'empêchât, étant donnée la nature non réversible de plusieurs des réactions qui engendrent cet alcali.

Tout au plus pourrait-il arriver qu'une partie de l'ammoniaque contenue dans l'atmosphère ambiante se combinât de son côté à certains principes de la terre, distinct de ceux qui en émettent : les deux phénomènes étant en partie indépendants l'un de l'autre, à cause du défaut d'homogénéité de la masse.

Comparons maintenant les apports ammoniacaux de l'atmosphère illimitée aux émissions faites par le sol gazonné.

Il convient d'observer d'abord que l'ammoniaque, contenue dans l'atmosphère libre située au-dessus du gazon et absorbable par l'acide sulfurique, provient, au moins pour une portion, du sol gazonné lui-même. Or, dans les essais précédents, les apports d'ammoniaque dus à l'atmosphère ont surpassé l'émission de cet alcali par le sol, lors de la première série ; tandis que l'émission a surpassé au contraire les apports, dans la seconde série. Si l'origine de l'ammoniaque trouvée dans l'atmosphère superposée vient en partie de régions plus lointaines dans le premier cas ; dans le second, l'émission de cet alcali par la terre gazonnée pourrait suffire à la rigueur pour en expliquer la présence dans l'atmosphère voisine.

La même observation s'applique à l'ammoniaque relativement abondante contenue dans les rosées : elle vient en partie du sol ; au même titre d'ailleurs que l'ammoniaque des brouillards et des neiges condensés à la surface des villes tire surtout son origine des vapeurs émises par les habitations humaines.

En tout cas, dans nos expériences, il n'y a point eu corrélation nécessaire entre la tension variable de l'ammoniaque, au sein d'une atmosphère illimitée, et l'émission de cet alcali par le sol gazonné : les deux actions en fait se sont exercées indépendamment l'une de l'autre. On pouvait prévoir qu'il en serait ainsi, en raison de l'indépendance théorique des causes qui déterminent chacune de ces actions.

ONZIÈME MÉMOIRE (RÉSUMÉ)

Observations sur les réactions entre la terre végétale et l'ammoniaque atmosphérique[1].

L'atmosphère contient une trace d'ammoniaque, 1 milligr. environ, à Paris, pour 50 000 litres d'air[2] ; la terre, d'autre part, émet de l'ammoniaque incessamment[3], ou tout au moins dans un grand nombre de circonstances, et elle possède aussi la propriété d'en absorber[4]. Cette double faculté d'émission et d'absorption détermine des échanges entre la terre végétale et l'air atmosphérique, échanges qui résultent de diverses réactions complexes et mal connues, d'ordre physique, chimique et microbiologique, en vertu desquelles la terre peut, en principe comme en fait, tantôt céder de l'ammoniaque à l'air, tantôt lui en emprunter. Quoiqu'il n'existe entre la plupart de ces réactions aucune condition nécessaire de réversibilité, qui les fasse tendre vers une tension fixe, ou déterminable à l'avance, les deux phénomènes contraires n'en sont pas moins faciles à provoquer, avec une même terre, suivant les conditions dans lesquelles se place l'expérimentateur.

C'est ce qui est exposé avec précision dans l'*Agronomie* de Boussingault, par un mémoire de M. Brustlein (t. II, p. 152 à 168 ; 1861). D'après ses expériences, on comprend comment on peut, en exagérant ou en restreignant pour l'air les conditions de volume relatif, de dose d'ammoniaque, de renouvellement et de vitesse des courants gazeux ; ou bien encore, pour une terre donnée, les conditions de surface, d'épaisseur, d'ameublissement, d'humidité, de décomposition chimique proprement dite, ou microbienne ; on peut, dis-je, à volonté faire absorber à cette terre la presque totalité de

1. *Comptes rendus* pour 1890.
2. SCHLŒSING, *Contribution à l'étude de la chimie agricole,* p. 39.
3. Voir, entre autres, BERTHELOT et ANDRÉ, *Annales de chimie et de physique,* 6e série, t. XI, p. 375.
4. Expériences de Way, Henneberg et Stohmann, Liebig, Boussingault, Brustlein, Schlœsing, etc.

l'ammoniaque contenue dans une atmosphère déterminée, ou bien lui faire perdre au contraire une partie de son azote sous la forme de cette même ammoniaque.

Ces faits étant acquis, tous les résultats intermédiaires et même contraires sont réalisables par des expériences systématiquement dirigées, mais sans être applicables à autre chose qu'aux circonstances spéciales de l'observation, circonstances susceptibles parfois d'être retrouvées çà et là et par accident, en divers moments et sur divers points du globe terrestre.

Dans la mesure de ces observations, on ne saurait d'ailleurs identifier l'action d'une surface liquide d'acide sulfurique étendu à celle d'une surface terreuse : car la surface liquide d'acide sulfurique absorbe le gaz ammoniac, mélangé à l'air en faible proportion, par une combinaison simple, immédiate, non réversible ; tandis qu'une surface terreuse est le siège de réactions compliquées et de signe contraire, susceptibles, je le répète, les unes d'émettre de l'ammoniaque dans l'atmosphère, les autres d'en absorber : ces réactions opposées et de vitesse inégale, peuvent s'exercer simultanément en divers points de la même terre, parce qu'elles sont pour la plupart indépendantes les unes des autres et que les différentes portions d'une masse terreuse ne sont ni solidaires, ni placées toutes dans des conditions pareilles ; enfin certaines de ces actions, telles que l'absorption par l'eau, ou par des surfaces poreuses, sont réversibles, tandis que d'autres, les réactions microbiennes notamment, qui produisent les nitrates, ou qui président aux fermentations ammoniacales et autres causes biologiques d'émission incessante d'ammoniaque par la terre, sont lentes et non réversibles. On ne saurait conclure dès lors en aucune façon de l'action de l'acide sulfurique à celle de la terre.

Toutes ces hypothèses admises, on n'aboutirait qu'à reconnaître des fixations d'ammoniaque faibles après tout, et observées dans des conditions qui n'existent pas en général sur les sols naturels ; ces fixations, observables peut-être en quelques endroits, sont susceptibles d'être compensées par les exhalaisons développées sur d'autres lieux ; sans que l'on soit autorisé à faire d'une manière universelle, et par un simple calcul algébrique, l'application d'aucun de ces ré-

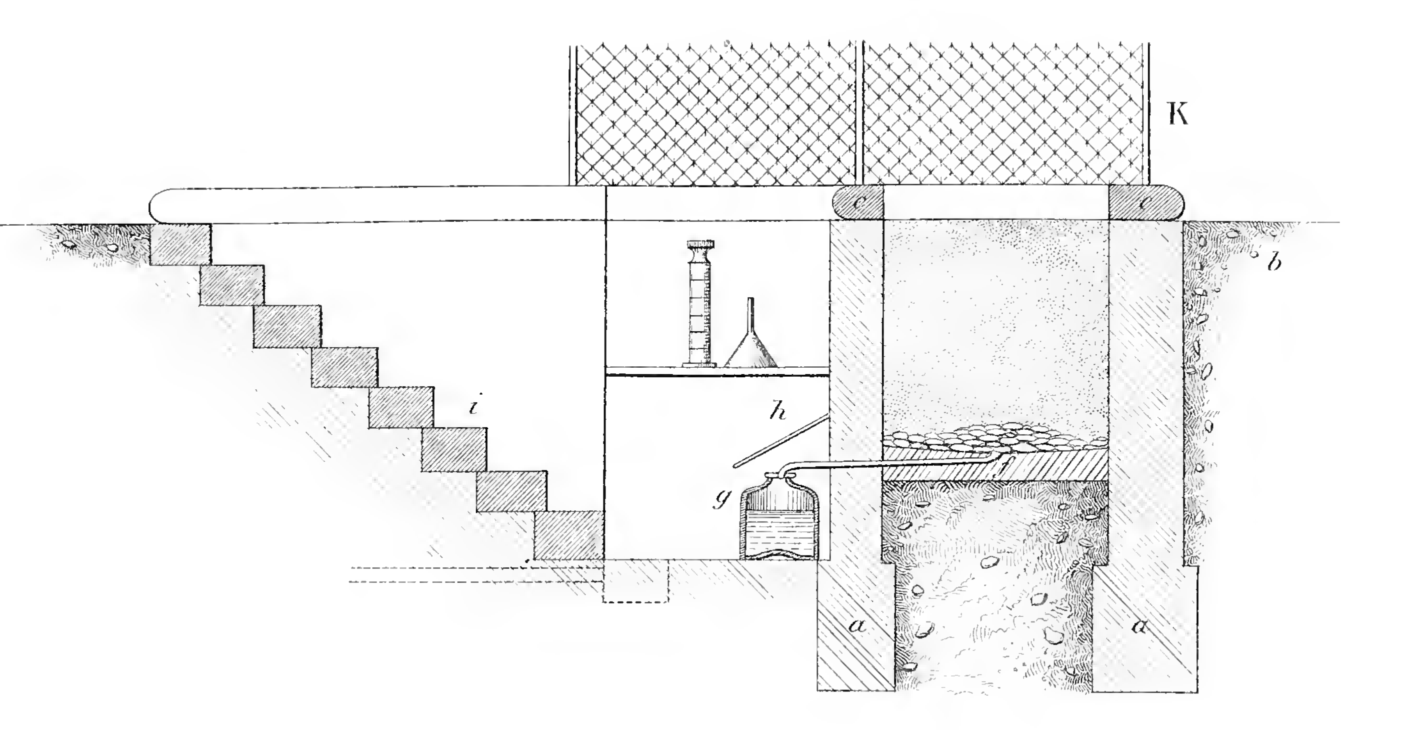
sultats particuliers, à l'exclusion des autres, à l'ensemble des sols naturels et de la végétation. Tout ce que l'on peut dire, c'est que la plupart des savants qui se sont occupés de ces difficiles problèmes s'accordent à regarder l'influence de l'ammoniaque atmosphérique dans la fixation de l'azote terrestre comme douteuse ; cette ammoniaque paraissant tirer, au contraire, sa source principale de la décomposition des matières organiques azotées, dérivées de celles qui ont pris naissance tout d'abord dans les végétaux eux-mêmes.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER (1890)

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.

Cases de végétation.

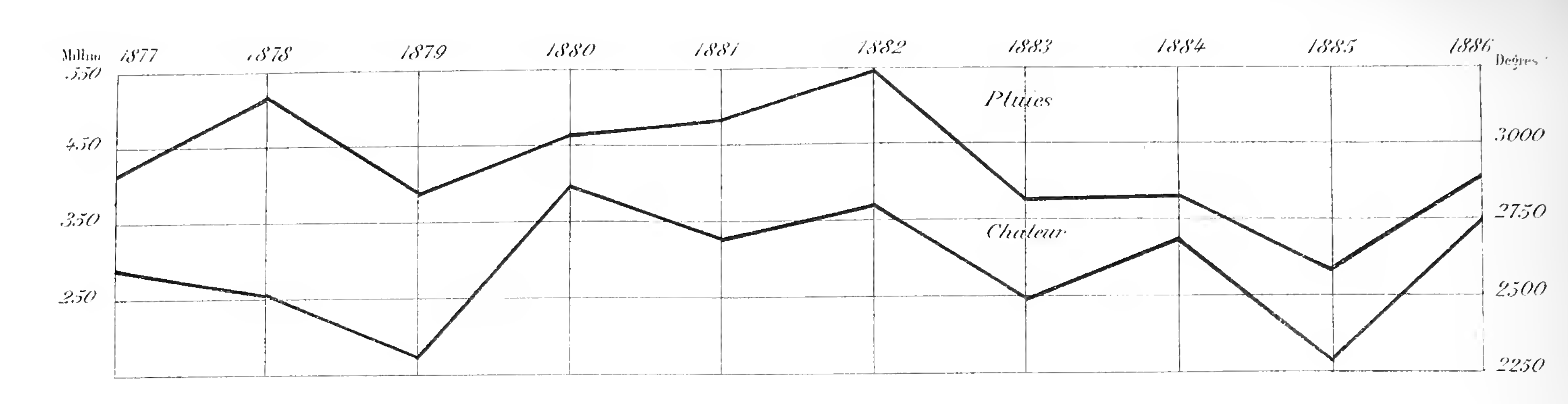


Coupe suivant A B.

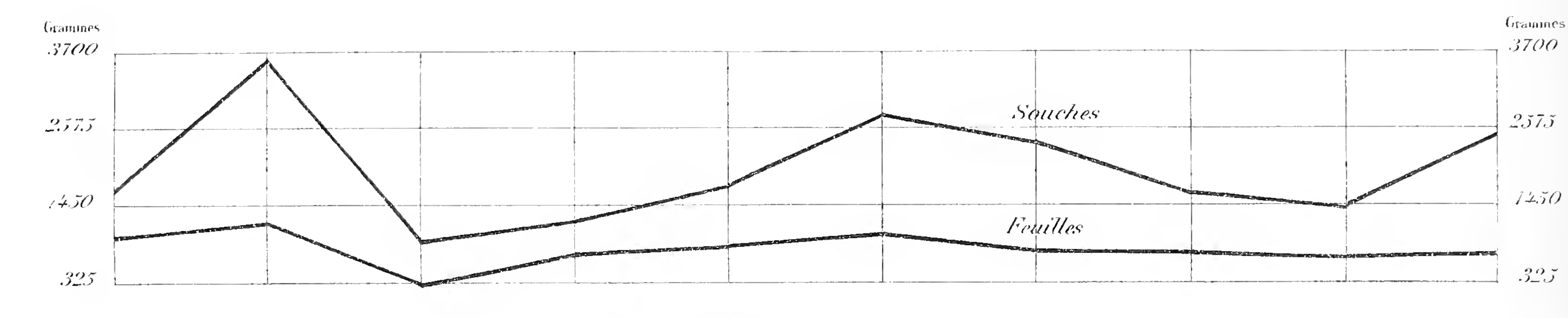
Pluviomètre
Puits
Pompe
c
d
e
g
i
I
II
III
IV
V
VI
A
B

Projection horizontale

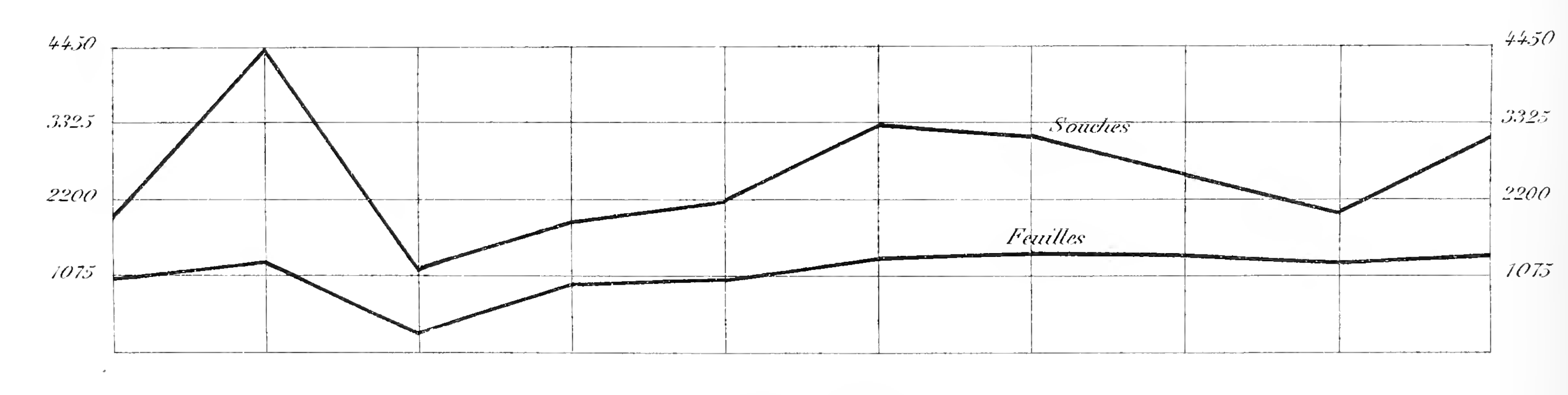
Planche II.



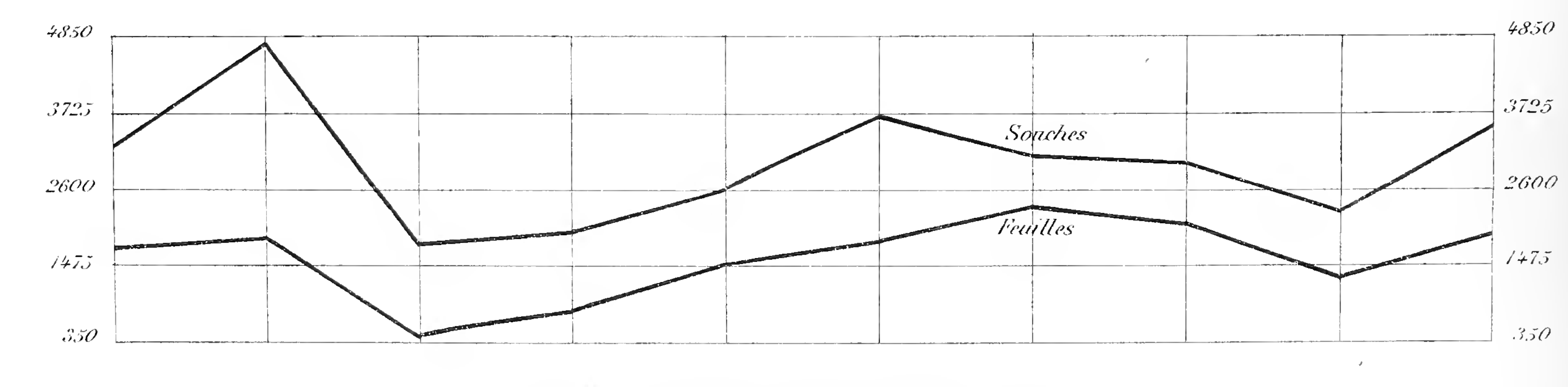
Case I._Rien.



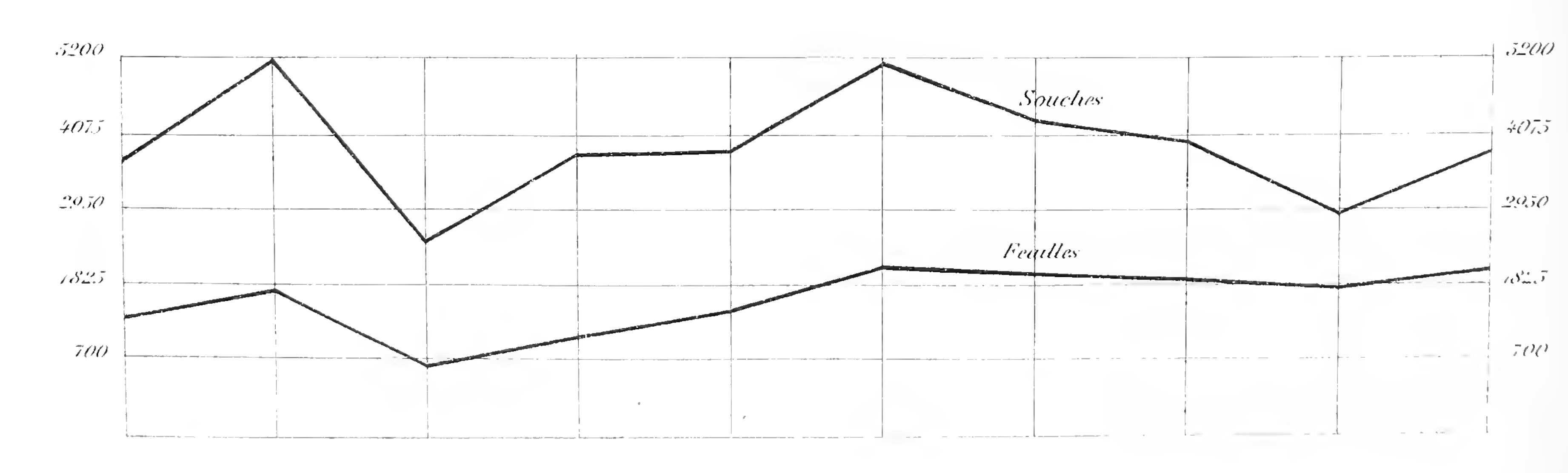
Case II._Matière minérale.

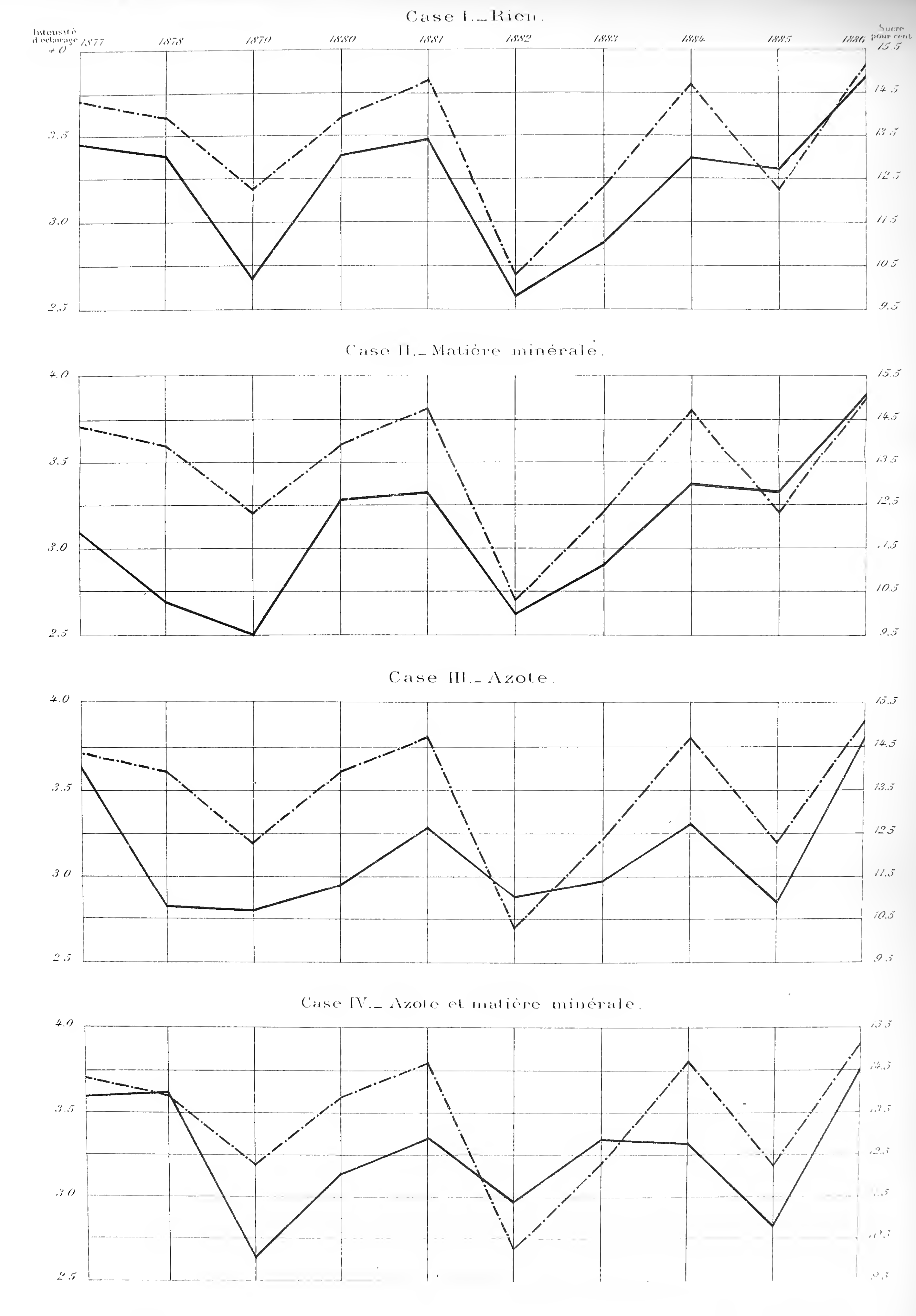


Case III._Azote.



Case IV._Azote et matière minérale.




Case I._Rien.
Intensité d'éclairage
Sucre pour cent
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
4.0
3.5
3.0
2.5
15.5
14.5
13.5
12.5
11.5
10.5
9.5
Case II._Matière minérale.
Case III._Azote.
Case IV._Azote et matière minérale.

Annales de la Science Agronomique Française et Etrangère, t. I, 1890.

RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL et WILFARTH

PL. I.



SERADELLA 1887.

Annales de la Science Agronomique Française et Etrangère, t. I, 1890.

RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL ET WILFARTH

PL. II.



291

292

LUPINS 1887

RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL ET WILFARTH

PL. III.

338 337 330 341 329 340 328 339 324 327 323 326 322 325

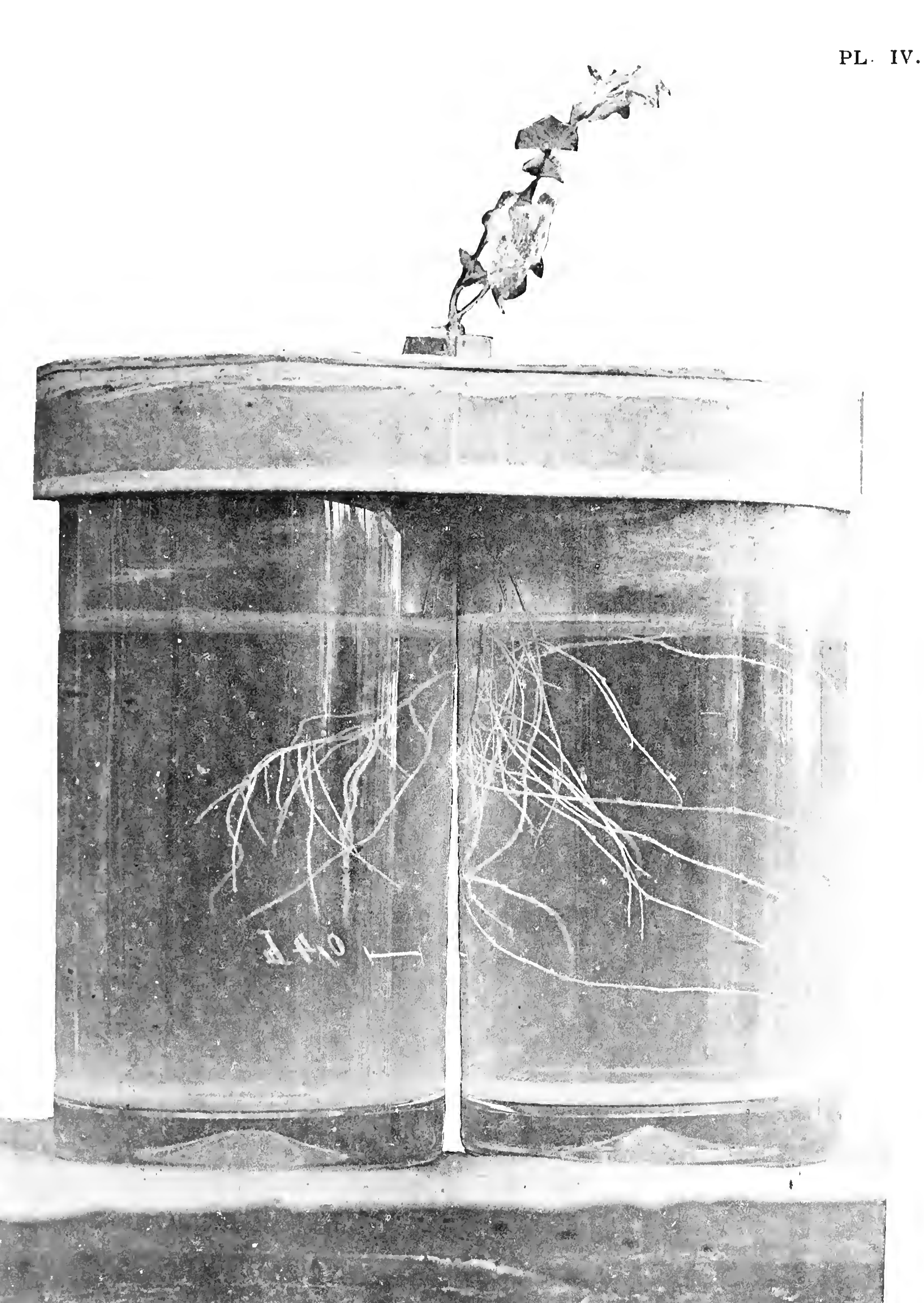
POIS 1887


BRITISH MUSEUM
B
D
NATURAL HISTORY

RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL ET WILFARTH

PL. IV.



B	A
Solution nutritive stérilisée.	Non stérilisée

POIS — N° 380.



RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL ET WILFARTH

PL. V.



Système radiculaire

du vase **B** stérilisé

du vase **A** non stérilisé

POIS — N° 380.



Annales de la Science Agronomique Française et Etrangère, t. I, 1890.

RECHERCHES SUR L'ALIMENTATION DES GRAMINÉES ET DES LÉGUMINEUSES

Par MM. H. HELLRIEGEL ET WILFARTH

PL. VI.



Sarrasin — Avoine

POIS — N° 384.